

**VIABILIDAD FINANCIERA PARA LA APLICACIÓN DE ENERGÍA GEOTÉRMICA
EN CULTIVOS DE CLAVEL DEL MUNICIPIO DE TABIO CUNDINAMARCA**

INVESTIGADORA:

Laura Valentina Vargas Rubiano.

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA AGRARIA DE COLOMBIA - UNIAGRARIA

FACULTAD DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE INGENIERIA MECATRÓNICA

FACATATIVÁ CUNDINAMARCA

2023

**VIABILIDAD FINANCIERA PARA LA APLICACIÓN DE ENERGÍA GEOTÉRMICA
EN CULTIVOS DE CLAVEL DEL MUNICIPIO DE TABIO CUNDINAMARCA**

INVESTIGADORA:

Laura Valentina Vargas Rubiano.

Trabajo de grado Presentado como requisito para optar por el título de Ingeniero Mecatrónico

DIRECTOR:

Luis Alexander Ramírez Riaño

CO DIRECTOR

Camilo Sarmiento

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA AGRARIA DE COLOMBIA - UNIAGRARIA

FACULTAD DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE INGENIERIA MECATRÓNICA

FACATATIVÁ CUNDINAMARCA

2023

Nota de aceptación

Jurado 1

Agradecimientos

Primero que todo quiero agradecerle a Dios por darme la fuerza para continuar cada día, también quiero agradecer a mis padres Mendivelson Vargas y Gladys Rubiano, a mis hermanos Daniela y Juan y a mi novio Nicolás Reyes a quien admiro profundamente, quienes son mi motor y mi mayor razón para no rendirme y seguir adelante, son quienes me han apoyado y acompañado a seguir mis sueños, e irlos cumpliendo.

También quiero agradecer a mi director Luis Ramírez, a mi codirector Camilo Sarmiento y al señor Gabriel Ramírez por su orientación, por la ayuda que me brindaron y sobre todo por la paciencia que tuvieron conmigo durante las revisiones de esta monografía.

Tabla de contenido

| | |
|--|----|
| resumen | 9 |
| Introducción | 10 |
| 1. Planteamiento Del Problema..... | 11 |
| 2. Justificación | 13 |
| 3. Objetivos..... | 15 |
| 3.1. Objetivo General..... | 15 |
| 3.2. Objetivos Específicos..... | 15 |
| 4. Marco Referencial..... | 16 |
| 4.1. Estado Del Arte..... | 16 |
| 4.2. Marco Histórico | 18 |
| 4.3. Marco Geográfico | 20 |
| 4.4. Marco Teórico..... | 22 |
| 4.5. Marco Conceptual..... | 23 |
| 4.5.1. Sistema Geotérmico | 23 |
| 4.5.2. Fuente De Calor. | 23 |
| 4.5.3. Reservorio Geotérmico. | 23 |
| 4.5.4. Sistema De Suministro De Agua. | 23 |
| 4.5.5. Capa Sello. | 24 |
| 4.5.6. Fluido Geotérmico. | 24 |
| 4.5.7. Sistemas Para La Extracción De Energía Geotérmica:..... | 24 |
| 4.5.8. Cultivo Del Clavel. | 27 |
| 4.5.9. Variedades De Claveles:..... | 28 |
| 4.5.10. Requerimientos Edafoclimáticos:..... | 29 |
| 4.5.11. Invernaderos..... | 31 |
| 4.6. Marco Legal | 33 |
| 4.6.1. Clase De Recurso Y Propiedad:..... | 33 |
| 4.6.2. Definición Y Uso Del Recurso: | 34 |
| 4.6.3. Gestión Del Recurso: | 35 |
| 5. Diseño Metodológico..... | 37 |
| 5.1. Procedimiento Metodológico..... | 37 |
| 5.2. Análisis De Información..... | 37 |
| 6. Desarrollo Y Análisis De Resultados | 38 |
| 6.1. Caracterización Del Cultivo Del Clavel | 38 |
| 6.2. Modelo Matemático | 39 |
| 6.3. Viabilidad Financiera..... | 50 |
| 6.3.1. Costos E Inversiones Del Proyecto..... | 50 |
| 6.3.2. Inversiones Fijas | 51 |
| 6.3.3. Ingreso..... | 52 |
| 6.3.4. Costos De Operación. | 53 |
| 6.3.5. Análisis Final | 55 |
| 7. Conclusiones..... | 55 |
| 8. Bibliografía | 58 |
| 9. Anexos | 62 |

Lista de tablas

| | |
|--|----|
| Tabla 1. Línea del tiempo (Heredia Benito, 2014). | 18 |
| Tabla 2. Temperatura ideal para el Clavel. | 30 |
| Tabla 3. Clase de recurso y propiedad. | 33 |
| Tabla 4. Definición y uso del recurso. | 34 |
| Tabla 5. Gestión del recurso. | 35 |
| Tabla 6 Caracterización del cultivo del clavel. | 39 |
| Tabla 7. Parámetros Principales empleados en la Simulación del Modelo Matemático. | 47 |
| Tabla 8. Parámetros para considerar para el invernadero y el intercambiador de calor | 49 |
| Tabla 9. Propiedades de polietileno. | 50 |
| Tabla 10. Inversiones necesarias para el proyecto | 52 |
| Tabla 11. Costos totales por 10 años | 54 |
| Tabla 12. flujo de caja..... | 55 |

Lista de figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1. Cinturón de fuego del pacífico. | 20 |
| figura 2. Mapa de fuentes termales de Cundinamarca con potencial para usos agrícolas. | 21 |
| Figura 3. Planta tipo Flash. | 24 |
| Figura 4. Planta tipo Binaria. | 25 |
| figura 5. Tipos de invernaderos. | 32 |
| figura 6. Esquema de las Pérdidas de Calor del Invernadero. | 40 |
| figura 7. Intercambio de Calor entre el Interior y el Exterior del Invernadero a través de la Cubierta y Paredes. | 41 |
| figura 8. Transferencia de Calor desde el Intercambiador de Calor. | 44 |
| figura 9. Distribución de Temperatura a lo largo del Intercambiador de Calor. | 44 |
| figura 10. Relación entre la longitud y el diámetro de la Tubería. | 47 |
| figura 11. Relación entre el flujo másico y la longitud de la tubería. | 48 |
| figura 12. Dimensiones del invernadero. | 50 |

Lista de Anexos

| | |
|---|----|
| Anexo 1. Mediciones de electromagnetismo en la zona de las piscinas termales en el municipio de Tabio. | 62 |
| Anexo 2. Mapa de Fuentes Termales de Cundinamarca con Potencial para Usos Agrícolas. | 74 |
| Anexo 3. Cotización intercambiador. | 75 |
| Anexo 4. Cotización bomba centrífuga | 76 |

RESUMEN

En la presente monografía se realizará la evaluación de la viabilidad financiera para la aplicación de energía geotérmica en el cultivo del clavel en municipio de Tabio Cundinamarca bajo invernadero, para esto, en primer lugar, se presenta la información básica como por ejemplo datos sobre sistemas geotérmicos, datos sobre el cultivo del clavel, información geográfica aplicable al estudio e información teórica y conceptual correspondiente.

Posteriormente, se define un método matemático aplicando las ecuaciones y cálculos necesarios para obtener los datos que determinan las características físicas y técnicas de los equipos que se pueden utilizar y que a su vez ayudarán a definir también las limitaciones económicas que fijan el tamaño del proyecto.

En cuanto a la viabilidad financiera, como primer paso, se recopilan todos los datos e información correspondiente a las inversiones necesarias para llevar a cabo este proyecto, además de los ingresos y los costos. Por último, se realiza la evaluación financiera para la cual se argumenta la rentabilidad del proyecto durante su vida útil, teniendo en cuenta las metodologías del Valor Presente Neto (VPN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR).

INTRODUCCIÓN

La energía geotérmica juega un papel muy importante dentro del marco de energías renovables, y aunque en Colombia no se ha explorado como se debería, se pueden realizar supuestos que permitan estimar la viabilidad de llevar a cabo proyectos de tal magnitud, y es que aunque actualmente podemos encontrar algunos proyectos que trabajan en el desarrollo de la energía geotérmica para el país, existen una serie de causas que pueden explicar el lento desarrollo que esta ha tenido, entre ellas que los estudios para la exploración y el modelamiento del recurso son altamente especializados y costosos, por lo cual es pertinente estudiar la viabilidad de la utilización de la energía geotérmica de acuerdo con el gradiente geotérmico.

El gradiente geotérmico es aumento de la temperatura de la tierra con la profundidad, es una variable indicativa del potencial geotérmico de un sitio. Un valor normal de gradiente térmico corresponde a un aumento de entre 25 y 30 °C/km. (Marzolf, 2014)

En algunas regiones, especialmente en aquellas donde se presentan volcanes, el gradiente geotérmico es superior al normal. Comúnmente en estas zonas afloran manantiales de aguas termales que constituyen una evidencia de la presencia de rocas calientes, masas magmáticas o gases volcánicos en ascenso o cerca de la superficie y que provienen del calor del interior de la tierra. Las regiones con estas características como lo es el municipio de Tabio, podrían ser promisorias para desarrollos geotérmicos y especialmente, para generación de energía eléctrica (Marzolf, 2014)

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Esta monografía se realiza enfocada al cultivo del clavel debido a que esta especie de flor es una de las más exportadas por Colombia según cifras del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE,2019) y La Dirección de Impuestos y Aduanas Nacionales (DIAN), los cuales anualmente realizan el “Boletín Técnico Exportaciones (EXPO)”; es importante señalar que los países a los que más exporta flores Colombia son: Reino Unido, Canadá, Países Bajos, Japón y Estados Unidos. La demanda de clavel colombiano en el extranjero es de 11.6%, teniendo en cuenta que en ciertas fechas del año se incrementan las exportaciones como es el caso de la fecha de San Valentín en donde se exportan alrededor de 35.500 toneladas de flores categorizadas en más de 1600 tipos de flores (CVN, 2019), cifras dadas por ASOCOLFLORES (Asocolflores, 2018).

El enfoque de este proyecto se encuentra en el departamento de Cundinamarca específicamente en el municipio de Tabio, debido a que, esta zona es una de las que se ve más afectada por el fenómeno de las heladas que tradicionalmente se ven en los meses de Diciembre y Enero, las cuales pueden llegar a dañar los cultivos de flores, afectando así las exportaciones de manera drástica, y es que Según el Centro de Innovación de la Floricultura Colombiana (Ceniflores), entidad adscrita a Asocolflores, el riesgo en el caso de los floricultores se presenta principalmente cuando la temperatura desciende por debajo de los -3°C por periodos mayores a una hora, aunque el clavel es una flor que se cultiva bajo invernadero, lo cual ayuda a mitigar el impacto que las bajas o altas temperaturas puedan provocar, no está exenta a daños pues, como se mencionó anteriormente al estar expuesta a bajas temperaturas por periodos prolongados de tiempo

se pueden evidenciar los daños y dado que actualmente no se tienen controles de temperatura, se corre el riesgo de perder producciones enteras al no poder cumplir con el estándar de exportación o tener que dejarlas para venta nacional por un valor más económico.

El clavel es una planta que necesita de unas temperaturas específicas: para invierno de 15 a 18 °C diurno y nocturno de 10 a 12 °C; para verano 21 °C diurno y nocturno 12 °C (InfoAgro, 2018), todo esto para mejorar la calidad de esta. En ocasiones para los floricultores es complicado lograr que el clavel se mantenga en una temperatura óptima debido a las constantes heladas o sequías que se producen en ciertas épocas del año y dado que en Colombia en general una de las mayores problemáticas es la falta de tecnologías, en el sector floricultor esto se ve reflejado aún más, puesto que los invernaderos no cuentan con la estructura y condiciones óptimas para proporcionar una buena protección a las plantas de daños como lo son las temperaturas fuera de tales invernaderos; Ahora bien, no cualquier tecnología se puede implementar a los invernaderos puesto que, es necesario que la tecnología que se llegase a utilizar no afecte las condiciones fisicoquímicas de la planta, porque esto afectaría la calidad de la misma.

Con todo esto se llega a la pregunta: ¿Cómo mejorar el suministro de calor dentro de un invernadero para un cultivo del clavel en Tabio Cundinamarca, sin afectar las condiciones fisicoquímicas de la planta?

2. JUSTIFICACIÓN

El departamento de Cundinamarca es uno de los departamentos que más exportaciones de flores realiza, pues aporta en un 80.5% del total nacional a la exportación de flores (DANE, 2009), es por esto que el enfoque del proyecto se realiza en este departamento y específicamente en el municipio de Tabio, puesto que se encuentra ubicado en la principal zona de producción y como se mencionó anteriormente es una de las zonas que más sufre por los cambios climáticos, es por esto que se piensa en la idea de poder automatizar los invernaderos, logrando así controlar ciertas cosas de manera más fácil, como es el caso de la temperatura, lo cual es el principal enfoque, y es que la idea de poder controlar la temperatura dentro del invernadero para que se mantenga en una escala óptima para el clavel sin que se afecten las condiciones fisicoquímicas de las plantas es posible con ayuda de la energía geotérmica, la cual se puede obtener fácilmente con el uso de acuíferos subterráneos, aprovechando así el calor del subsuelo para poder climatizar la zona.

La energía geotérmica es una energía renovable que se puede generar extrayendo el calor contenido en el subsuelo mediante el uso de bombas de calor geotérmicas y/o intercambiadores de calor, para caldear en invierno y refrigerar en verano. Por tanto, cede o extrae calor de la tierra, según se requiera para así obtener refrigeración o calefacción, a través de un conjunto de colectores (paneles) enterrados en el subsuelo por los que circula una solución de agua con glicol. (twenergy, 2019), con el uso de esta energía se puede controlar fácilmente la temperatura dentro del invernadero manteniendo así las temperaturas óptimas para la flor, sin tener la preocupación de los cambios climáticos, ni la preocupación de que se afecte la flor en el proceso, garantizando así una buena producción.

La idea de implementar la aplicación de energía geotérmica a un cultivo de clavel nace principalmente de la necesidad de mitigar los daños causados por el cambio climático, los cuales se ven reflejados en la economía país, y es que el cambio climático afecta principalmente a los sectores como floricultor, agrícola y ganadero, los cuales son de los sectores que más aporte económico generan, gracias a las exportaciones. En este caso, se decidió implementar la idea al sector floricultor, específicamente al cultivo del clavel puesto que, como se mencionó anteriormente es una de las flores más exportadas por Colombia, dándonos el primer puesto a nivel mundial como exportadores de clavel, también porque el sector floricultor es uno de los sectores que más empleo genera en Colombia, por ejemplo, en 2018 se generaron más de 140.000 empleos rurales formales directos (Colombiatrade, 2019).

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo general

Evaluar la factibilidad financiera que tendría la implementación de una planta de energía geotérmica para la climatización de un cultivo de clavel en el municipio de Tabio Cundinamarca.

3.2. Objetivos específicos

- Investigar acerca del cultivo de clavel en Tabio Cundinamarca y sus principales requerimientos.
- Evaluar costos de los equipos y materiales necesarios para la implementación de la energía geotérmica en cultivos de clavel de Tabio Cundinamarca.
- Realizar la evaluación financiera que permita determinar si es rentable la implementación de energía geotérmica en los cultivos de clavel en Tabio Cundinamarca.

4. MARCO REFERENCIAL

4.1. ESTADO DEL ARTE

Actualmente a nivel mundial se desarrollan proyectos piloto basados en la política de Transición Energética, la cual busca que se estudien nuevas formas para generar energía renovable no convencionales.

Dentro de estos proyectos encontramos:

- Diseño de un prototipo geotérmico con intercambiador de calor tierra-aire para la climatización de viviendas con condiciones ambientales de temperatura mayores a 30 °C (Valenzuela Ramírez, 2022)

Este proyecto analiza el funcionamiento de un sistema de climatización geotérmico por intercambiador de calor tierra-aire (ICTA), el cual se dividió en una fase de estudio teórico y estudio práctico, se recolectaron 65 variables ambientales, térmicas y dimensionales, las cuales se analizaron matemáticamente mediante cálculos con la ayuda del modelo de análisis térmico de De Paepe & Janssens, y a través del diseño del prototipo en SolidWorks® y simulación CFD - Flow Simulation se evidenció su comportamiento concluyendo satisfactoriamente.

- Análisis tecno-económico de un sistema de invernadero para cultivo de plantas ornamentales mediante el aprovechamiento del recurso geotérmico de baja entalpía. (García Ávila, 2021)

Da a conocer la evaluación tanto técnica, como económica para la implementación de energía geotérmica para la climatización de un invernadero, con el propósito de producir flores ornamentales, específicamente rosas, para la región de San Pedro Lagunillas, Nayarit, México.

- Invernadero geotérmico de baja entalpia para cultivo de tomate. (Jasso Rivera, A., 2016)

En este proyecto, se hizo uso de un Intercambiador de calor (agua-aire) para realizar un control adecuado de los recursos (insumos, energía eléctrica y combustibles) para el cultivo de Tomates en México.

- Diseño de una bomba de calor a partir de la energía geotérmica para acondicionar un invernadero florícola (Guzmán Arroyo, C.C., 2019).

En este proyecto se realizó el diseño una bomba de calor geotérmica para acondicionamiento de calor en un invernadero en Ecuador, para el cultivo de una variación de flor llamada Gypsophila, cumpliendo con las especificaciones de temperatura establecidas.

- Investigación de medición sobre la viabilidad de la energía geotérmica poco profunda para calefacción y refrigeración aplicada en invernaderos agrícolas de la ciudad de Shouguang: perfiles de temperatura del suelo y potencial geotérmico. (A. T. Le et al., (2021)

En este caso, se hizo uso de un intercambiador de calor tierra-aire (EAHE) para mejorar la distribución de la temperatura y poder realizar una evaluación preliminar del potencial geotérmico en un cultivo de verduras en China.

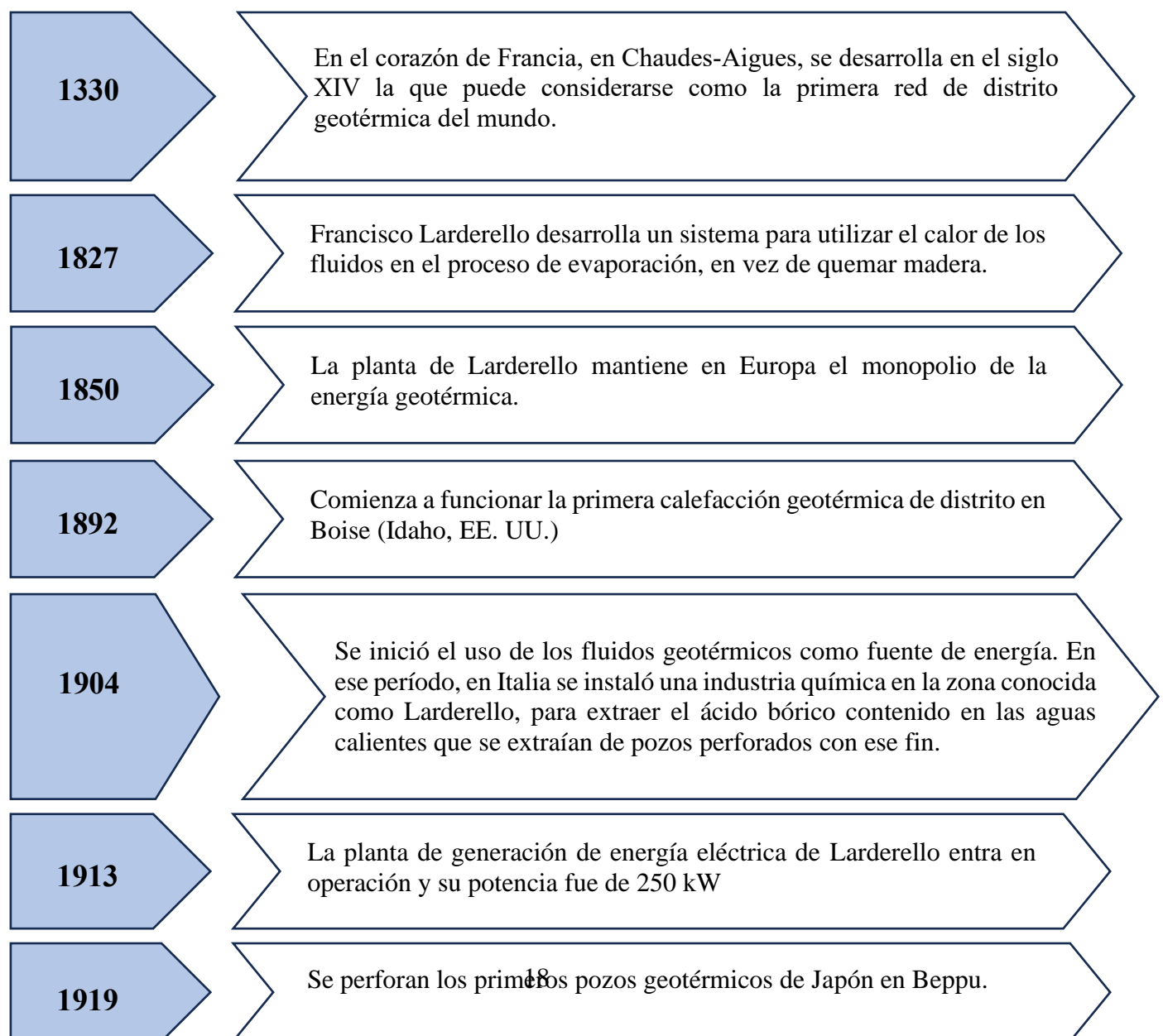
- Mejora del sistema de refrigeración evaporativa en un invernadero utilizando energía geotérmica (I. M. A. Aljubury & Hind Dhia'a Ridha, 2017).

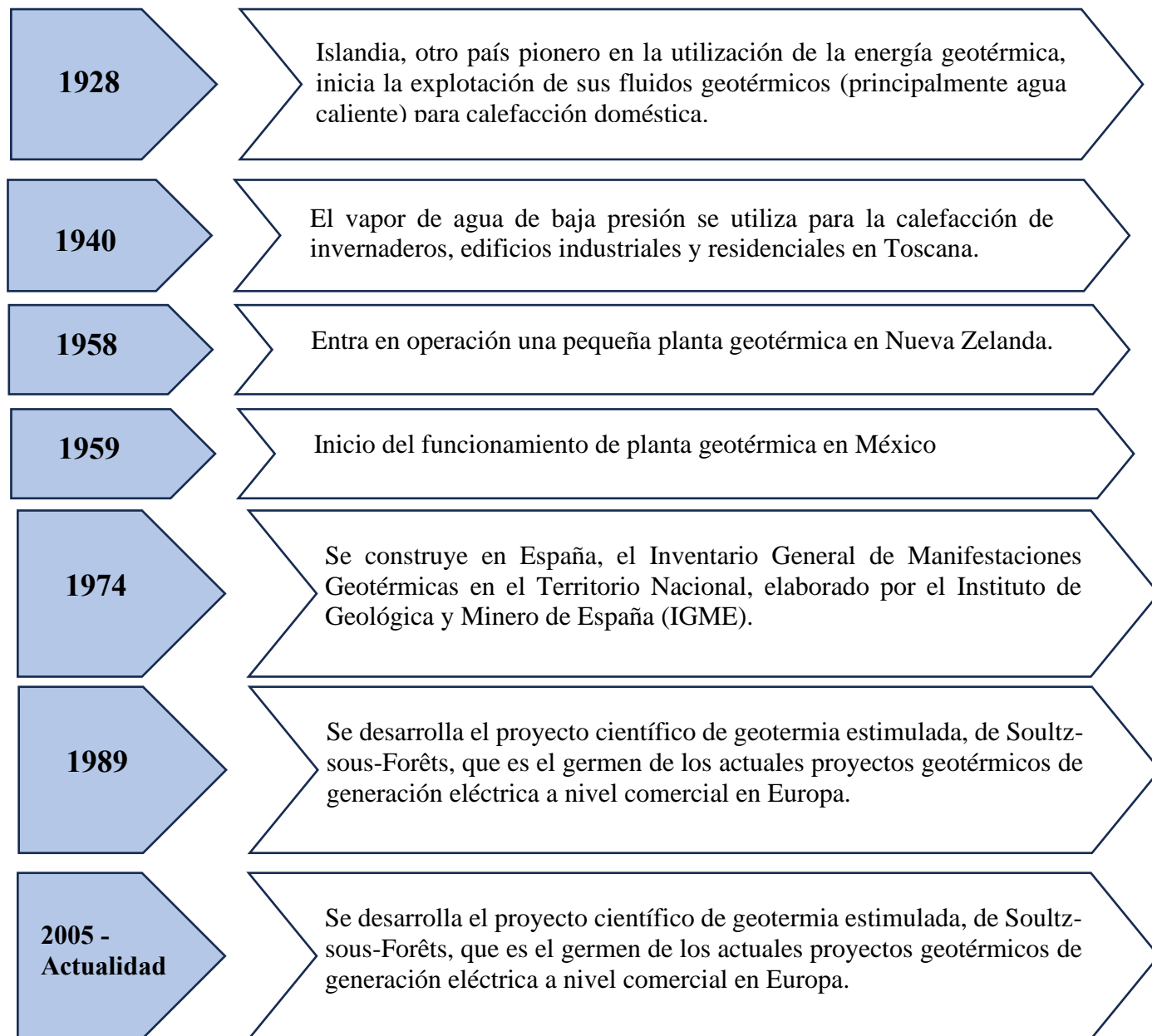
En este caso se utilizó el sistema de refrigeración de intercambiador de calor, utilizando agua subterránea y enfriamiento evaporativo indirecto-directo, (IDEC) para evaluar y analizar el rendimiento de un sistema IDEC a pequeña escala en un cultivo de hortalizas en Irak.

4.2.MARCO HISTÓRICO

A continuación, por medio de una línea del tiempo se realizará un breve recorrido por la historia de la energía geotérmica resaltando los hitos que se consideran más importantes en el desarrollo actual de la misma:

Tabla 1. Línea del tiempo (Heredia Benito, 2014).



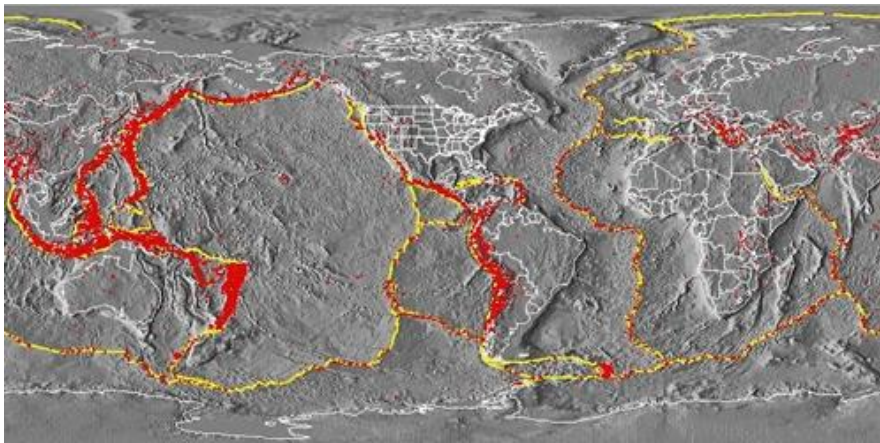


Fuente: Elaboración propia.

4.3.MARCO GEOGRÁFICO

Geográficamente hablando, Colombia tiene un alto potencial para desarrollar la energía geotérmica, esto debido a su ubicación, que le permite contar con las cordilleras Occidental y Central, de alta actividad volcánica (Coviello, 2000), además cuenta con una posición geográfica y geológica privilegiada en el cinturón Fuego del Pacífico. (López Suárez , 2021)

Figura 1. Cinturón de fuego del pacífico.



Fuente: (SAESP, I, 2019)

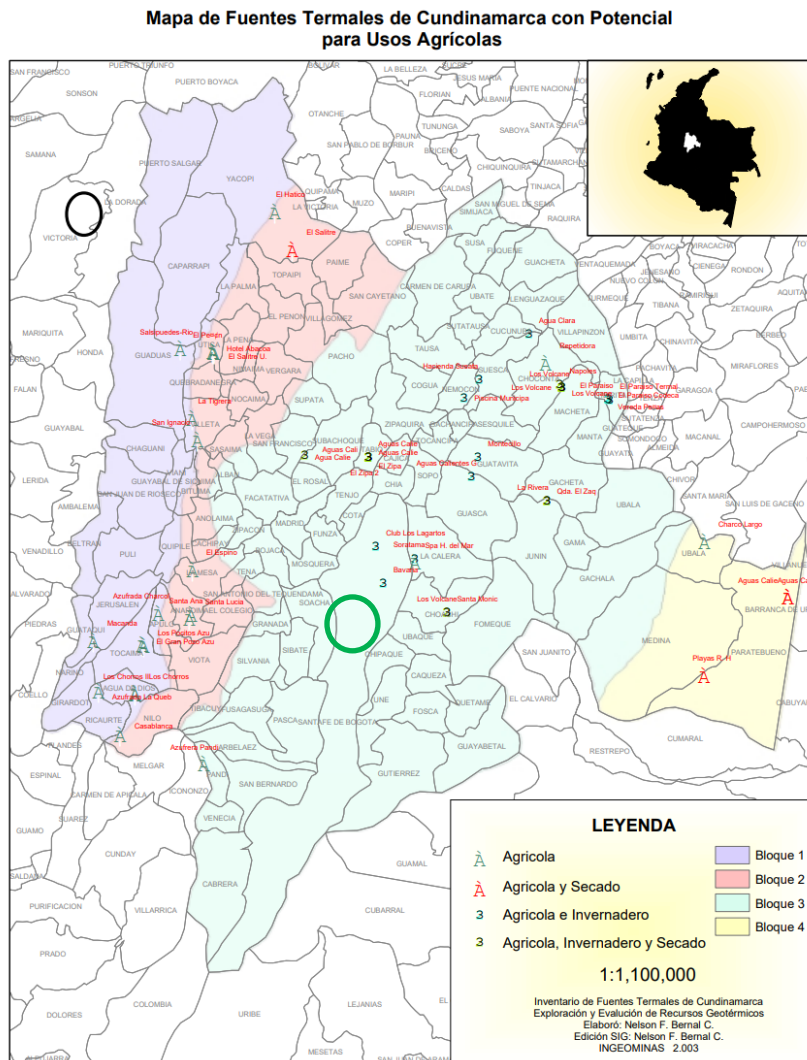
De acuerdo con el Servicio Geológico Colombiano (SGC), los recursos geotérmicos del país rondan los 138,60 EJ (unidad calorífica) y una potencia de 1.170,20 megavatios.

Según el ministro de Minas y Energía, Diego Mesa: “Es una fuente confiable de generación, ya que el calor de la Tierra estará disponible por muchos años. Además, es sostenible porque genera menos emisiones de gases efecto invernadero, sólidos suspendidos en el aire y no requiere grandes extensiones de tierra para su desarrollo”, (López Suárez , 2021)

Además de esto, este estudio se va a focalizar en el municipio de Tabio Cundinamarca puesto que, posee manantiales ubicados en el flanco oriental de la cordillera, el cual está afectado

por una fuente de calor anómala, que probablemente está relacionada a la actividad tectónica regional. La distribución de estos manantiales muestra una tendencia a incrementar su temperatura de descarga hacia el oriente del departamento, llegando a encontrar un gradiente geotérmico máximo, entre 50 y 60 °C/km, clasificado como mesotermal, en las áreas geotérmicas de Gachetá, Tabio, Tibirita y Paratebueno. Ofreciendo una gran gama de usos como, por ejemplo: secado, agricultura e invernaderos (Alfaro V., Aguirre C., Bernal C, & Gokcen, 2003)

figura 2. Mapa de fuentes termales de Cundinamarca con potencial para usos agrícolas.



Fuente:INGEOMINAS (Alfaro V., Aguirre C., Bernal C, & Gokcen, 2003)

4.4.MARCO TEÓRICO

La energía geotérmica es la energía almacenada en forma de calor por debajo de la superficie de la tierra. (Llopis Trillo & Rodrigo Angulo, 2008)

La formación de rocas permeables donde circula el fluido geotérmico se conoce como reservorio o yacimiento geotérmico, mientras que la fuente de calor del sistema puede consistir en una roca caliente cuya temperatura ha aumentado por su proximidad a un cuerpo volcánico o, en una cámara magmática o, en gases calientes de origen magmático; asimismo, existe un sistema de suministro de agua, que se describe como el mecanismo de recarga de agua que reemplaza los fluidos que salen del reservorio en forma de manantiales termales o aquellos que son extraídos a través de pozos. Otro de estos elementos es la capa sello, que consiste en una superficie impermeable compuesta generalmente de arcilla que cubre el reservorio y evita que el vapor y el agua escapen. (Marzolf, 2014)

Es una fuente inagotable de energía los 365 días del año las 24 horas al día, y a diferencia de otros sistemas no influyen las condiciones meteorológicas del momento (sol, viento, etc).

La energía geotérmica es capaz de abastecer hasta el 100% de las necesidades de calefacción y de agua caliente sanitaria (ACS) de una vivienda, edificio, etc., incluso con temperaturas exteriores muy bajas, proporcionando además refrigeración en verano, todo ello con una misma instalación, mediante suelos radiantes o fan coils. (Marzolf, 2014)

La energía geotérmica de baja entalpía es una energía renovable que elimina la dependencia de los combustibles fósiles (gasoil, gas natural, propano) con la consiguiente disminución de

emisiones de CO₂, causantes del efecto invernadero, esta energía es respetuosa con el medio ambiente y tiene un nulo impacto ambiental.

Durante los últimos 30 años el uso de la geotermia para generación de energía se consolidó como una industria madura y competitiva, pues esta tecnología ha evolucionado con base en los continuos mejoramientos en el diseño de los equipos de transformación del calor en energía. Algunos países que hacen un uso intensivo de la geotermia son: Japón, Islandia, Nueva Zelanda, El Salvador, Costa Rica, Estados Unidos y México. (Marzolf, 2014)

4.5.MARCO CONCEPTUAL

4.5.1. Sistema geotérmico

Se denomina sistema geotérmico a un conjunto de elementos naturales que se pueden presentar en una misma área o campo geotérmico y de la cual es posible extraer fluidos geotérmicos con diferentes fines. (Marzolf, 2014) Los componentes principales de este tipo de sistemas son los siguientes:

4.5.2. Fuente de calor.

Puede ser; una roca caliente que ha incrementado su temperatura por contacto con un cuerpo volcánico intrusivo; una cámara magmática o gases calientes de origen magmático. Generalmente la fuente de calor presenta temperaturas mayores a los 600 °C. Estas fuentes se pueden encontrar a diferentes profundidades, mayores a dos kilómetros. (Marzolf, 2014)

4.5.3. Reservorio geotérmico.

Formación de rocas permeables, donde circula el fluido geotérmico a profundidades económicamente explotables. Conocido también como yacimiento geotérmico. (Marzolf, 2014)

4.5.4. Sistema de suministro de agua.

Sistema de fallas o diaclasas en las rocas que permiten la recarga del reservorio geotérmico con el agua que se infiltra en el subsuelo. Este flujo reemplaza los fluidos que salen del reservorio en forma de manantiales termales o aquellos que son extraídos a través de pozos. (Marzolf, 2014)

4.5.5. Capa sello.

Estrato impermeable, generalmente compuesto por arcillas (esmectita o montmorillonita) producto de la alteración de las rocas por alta temperatura, que cubre el reservorio, lo contiene y evita la pérdida de agua y vapor. (Marzolf, 2014)

4.5.6. Fluido geotérmico.

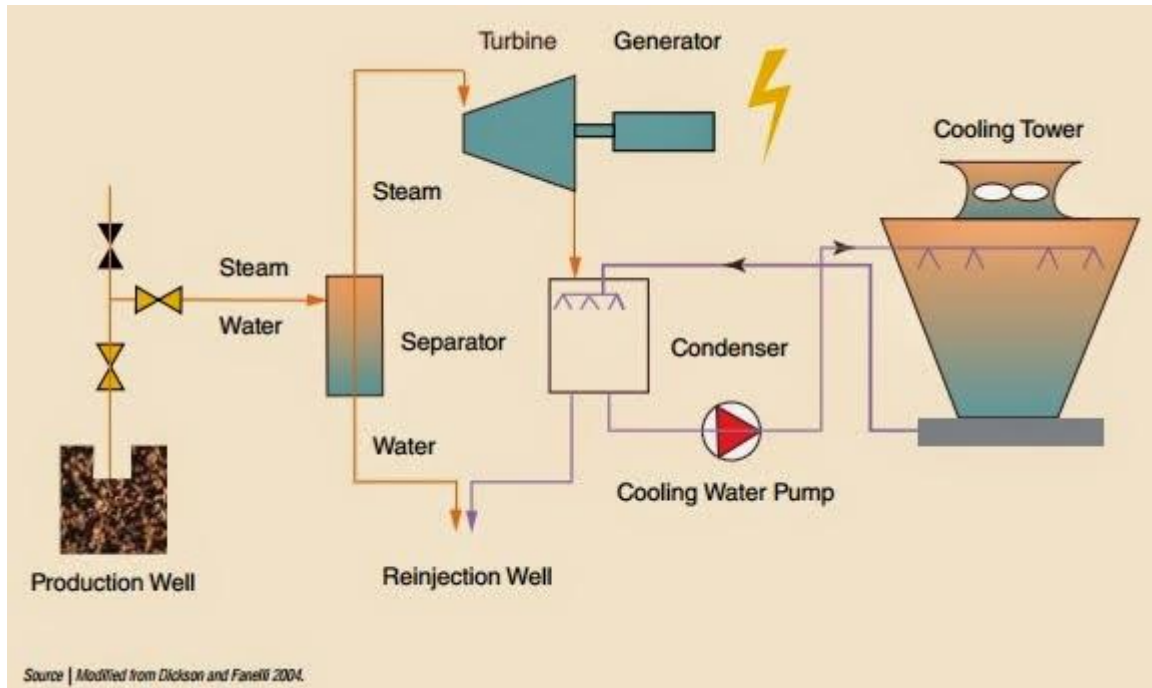
Se denomina así al agua, en su fase líquida, de vapor o en combinación, que se encuentra en el reservorio geotérmico y que puede aflorar a la superficie de manera natural mediante manantiales de aguas termales o pozos geotérmicos. Estos fluidos a menudo contienen sustancias químicas disueltas como cloruros (Cl), dióxido de carbono (CO₂), sulfatos (SO₄) y sales minerales. (Marzolf, 2014) (Andreotti , 2014)

4.5.7. Sistemas para la extracción de energía geotérmica:

Flash:

También denominada abierta o de vapor directo. Esta tecnología se utiliza cuando se tienen fluidos geotérmicos con temperaturas superiores a los 200 °C en planta. Los fluidos geotérmicos pasan por un separador de vapor y agua, el vapor se inyecta a una turbina que a su vez mueve el generador eléctrico, pasando luego a un condensador. El fluido geotérmico que ha cedido el calor retorna al reservorio mediante pozos de reinyección. (Marzolf, 2014)

Figura 3. Planta tipo Flash.

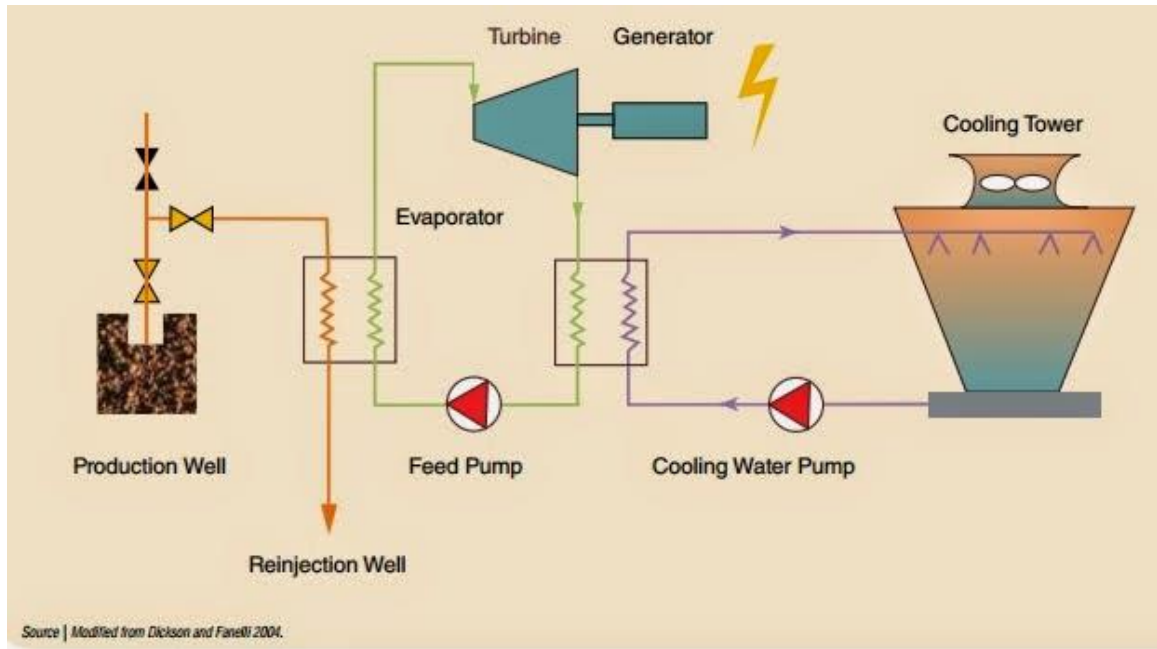


Fuente: (Andreotti, 2014)

Binaria:

También se conoce como de ciclo cerrado. Esta tecnología se utiliza cuando se tienen fluidos geotérmicos con temperaturas inferiores a los 200 °C en planta. En la tecnología binaria, los fluidos geotérmicos calientan un compuesto orgánico por medio de un intercambiador de calor. Se usan compuestos orgánicos como n-pentano o amoníaco, entre otros, que tienen bajo punto de ebullición y alta presión de vapor a bajas temperaturas. El vapor del compuesto orgánico es inyectado a una turbina que, a su vez, mueve un generador eléctrico, pasando luego a un condensador y retornando al ciclo. El fluido geotérmico que ha cedido el calor retorna al reservorio mediante pozos de reinyección. (Marzolf, 2014)

Figura 4. Planta tipo Binaria.



Fuente: (Andreotti, 2014)

Dependiendo de la presión y la temperatura de los fluidos geotérmicos se pueden usar diferentes tipos de turbinas de vapor, que se diferencian por su capacidad y eficiencia, las cuales pueden ser:

- **Turbinas de contrapresión:** la salida del vapor de la turbina se encuentra a una presión superior a la atmosférica, el vapor es más fácil de transportar y puede ser utilizado en otros procesos. (Cerini & Record, 1983)
- **Turbinas de condensación:** el vapor, a la salida de la turbina, entra a un intercambiador de calor donde se condensa, generando vacío y un empuje adicional en la turbina. El vapor condensado es transportado para su reinyección al campo geotérmico. Los fluidos geotérmicos una vez usados para generación de energía pueden ser utilizados. (Cerini & Record, 1983)

En cuanto al cultivo del clavel, un estudio señala que Colombia alcanzó el año pasado el 53 % de la participación en las exportaciones de claveles, en un mercado que supera los 600 millones de dólares. Kenia (África) tiene el 20 % del mercado, mientras que Holanda se quedó con el 17% y Turquía y España, con el 5% por ciento cada uno. (Portafolio, 2011)

Las nuevas variedades de claveles que está produciendo Colombia, incluyendo los transgénicos, con colores y apariencias inusuales, mayor tiempo de vida en los floreros y una mayor resistencia a enfermedades como el Fusarium, han contribuido a que tanto los importadores como los consumidores los tengan como una alternativa frente a otras especies.

Aunque los claveles representan en la actualidad solo el 12 % de la producción colombiana, en los últimos años los productores han incrementado su oferta de variedades y, junto con los miniclaveles, este segmento alcanza el 18 por ciento de la producción nacional de flores.

El estudio del ITC señala que Japón ha emergido como el más interesante mercado para los claveles colombianos en los últimos cinco años, los cuales, gracias a su calidad y diversidad, han desplazado la producción de China.

Colombia alcanzó en el 2010 el primer lugar como proveedor de claveles de Japón, con 199,8 millones de tallos. (Portafolio, 2011)

4.5.8. Cultivo del clavel.

El clavel es una planta perenne de día largo, con base leñosa y tallos de hasta 80cm de longitud.

Raíces

Presenta un sistema radicular fibroso. Sus raíces son de gran longitud, pudiendo alcanzar los 30cm de profundidad.

Tallos

Presentan varios vástagos largos (hasta 80cm de altura), glabros y con nudos muy pronunciados. Al final de cada vástago se forma una flor terminal.

Hojas

Las hojas son lineales (0,8-1,5cm de longitud), planas, acuminadas y glaucas. De cada nudo brotan dos hojas opuestas, cuya base envainadora envuelve al mismo.

Flores

Aparecen en inflorescencias en panícula o cima laxa, a veces solitarias o en grupos de cinco, muy olorosas. El epicáliz presenta de 4-6 brácteas anchas, abruptamente acuminadas, mucho más cortas que el cáliz. El cáliz es de 2,5-3cm de longitud y presenta dientes triangulares. La corola está formada por pétalos dentados de forma irregular, no barbados, de 1-1,5cm de longitud y de color rosado-púrpura (especies silvestres). (InfoAgro, 2018)

4.5.9. Variedades de Claveles:

- Clavel de Niza: Son cada vez menos cultivados; `Legión d' Honneur` (rojo), `BB` (rosa), `Candide` (blanco).
- Clavel americano o Sim: Mono o uniflor, son cada vez menos cultivados; `Scania 3C` (rojo), `Le Rêve` (rosa), `Florence` (blanco), `Harvest Moon` (naranja).
- Clavel miniatura, multiflores (a veces uniflores) o `Spray`: `New Elsy` (rojo), `Tony` (naranja), `White Elegance` (blanco), `Tip-Top` (estriado), `Castillo`

(naranja), `River Orange` (naranja), `Silver Pink` (rosa), `Teddy` (rosa). En este caso, se pretende que el clavel tenga mayor número de botones florales. Los pedúnculos de Spray no deben ser muy largos porque se pierde la flor.

- Clavel mediterráneo o claveles híbridos uniflores o estándar: Son cada vez más cultivados y tolerantes a fusariosis: `Amapola` (rojo), `Ronja` (rosa), `Candy` (amarillo), `Happy Candy` (bicolor), `Virginia` (blanco). La flor debe ser proporcional a la longitud de la vara, la cual debe ser paralela respecto al tallo. En el caso de claveles estándar, son mejores las variedades con menos tendencia a emitir brotes laterales. Sin embargo, en el caso del clavel spray, se seleccionan variedades capaces de emitir brotes laterales. (InfoAgro, 2018)

4.5.10. Requerimientos Edafoclimáticos:

Temperatura:

- El clavel tolera temperaturas de hasta -4°C . Sin embargo, cuando las temperaturas son inferiores a 8°C , la formación de yemas florales se paraliza.
- Temperaturas inferiores a 8°C y superiores a 25°C merman la producción, ya que alteran la velocidad de crecimiento, la altura de las flores, la capacidad reproductiva, el contenido de agua y la duración de la vida post-cosecha de la flor cortada.
- Variaciones bruscas en las temperaturas diurnas respecto a las nocturnas, provocan la apertura del cáliz. Este fenómeno es frecuente en cultivos bajo plástico o con calefacción anti-helada. Por el contrario, esta reacción es menor en claveles de zonas con clima mediterráneo. (InfoAgro, 2018)

Por tanto, las temperaturas óptimas para el cultivo del Clavel las encontraremos en la tabla 1.

Tabla 2. Temperatura ideal para el Clavel.

| Temperaturas óptimas | | |
|-----------------------------|-------------|---------------|
| | Diurna (°C) | Nocturna (°C) |
| Invierno | 15-18 | 10-12 |
| Verano | 21 | 12 |

Fuente: (InfoAgro, 2018)

Humedad:

El rango óptimo de humedad relativa oscila entre el 60-70%. Valores de humedad relativa por encima del óptimo, incrementan la incidencia de enfermedades criptogámicas. Por el contrario, valores por debajo del mismo provocan el desecamiento de la planta y favorecen la incidencia de araña roja. (InfoAgro, 2018)

Luz:

Se trata de un factor predominante para el crecimiento vegetativo de la planta, la rigidez del tallo, así como del tamaño y número de flores. El valor óptimo de intensidad lumínica se encuentra en torno a los 40000 lux.

Si la iluminación es insuficiente, se desarrollan brotes débiles, tallos largos y delgados y numerosos brotes laterales. Por el contrario, si la iluminación es excesiva y las temperaturas elevadas, los tallos son cortos y con menor número de brotes laterales. (InfoAgro, 2018)

Sustrato:

Prefieren suelos sueltos, porosos y con buen drenaje para evitar el encharcamiento, ya que éste favorece el desarrollo de enfermedades y la asfixia radicular. El pH debe estar comprendido entre 6,5 y 7,5.

El clavel puede soportar altos niveles de salinidad, tanto de suelo como de agua de riego, aunque el grado de salinidad óptimo se encuentra en torno a 2dS/m. Valores superiores a éste repercuten negativamente en la calidad de la flor. (InfoAgro, 2018)

Riego:

Prefiere riegos cortos y frecuentes mediante riego por goteo. Los aportes de agua dependen de la época y del sustrato. No obstante, es importante que el sustrato se encuentre húmedo en todo momento (evitando el encharcamiento).

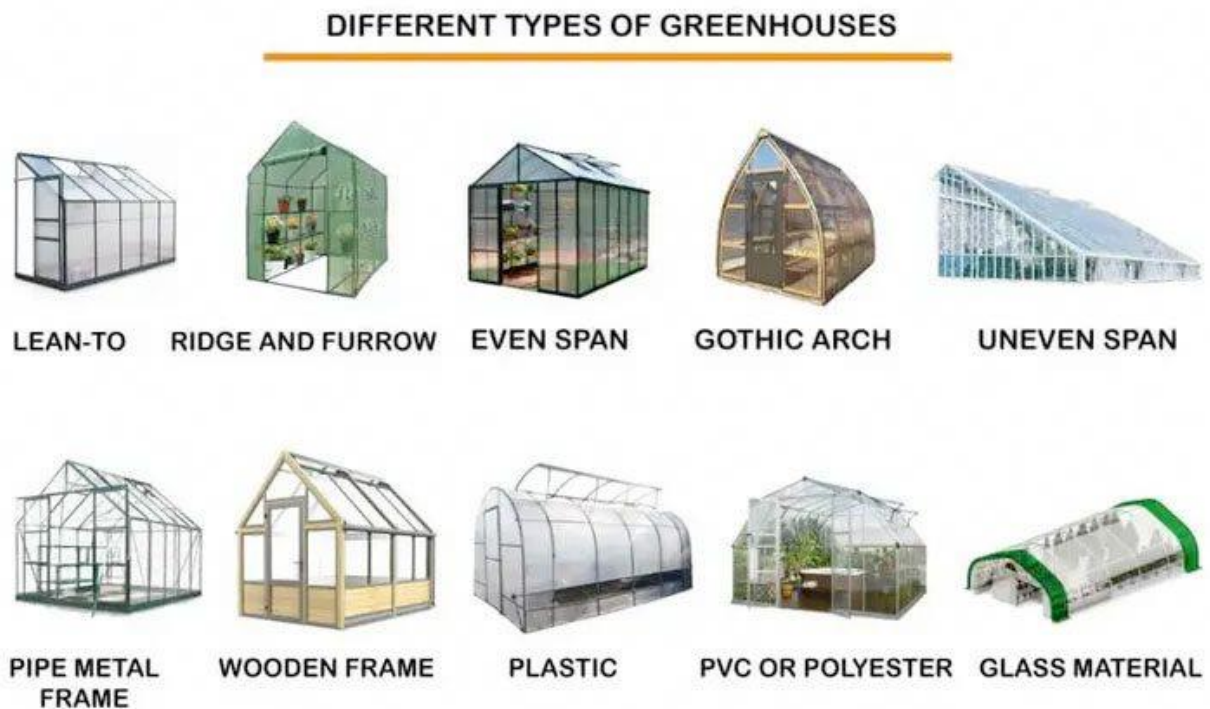
Un déficit de riego influye negativamente en el desarrollo y calidad de la flor, así como en el crecimiento de las hojas. En estas condiciones, las hojas son de menor tamaño y consistencia. Por el contrario, un exceso de riego provoca clorosis generalizada en la planta. (InfoAgro, 2018)

4.5.11. Invernaderos.

Los invernaderos son instalaciones que se han creado con el fin de proteger a las plantas de fluctuaciones climáticas bruscas, controlan el medio ambiente para realizar un cultivo en una zona geográfica poco apta o fuera de la estación, proporcionando un mayor control climático producto del microclima que se crea dentro de él, manteniendo condiciones de temperatura y humedad ideales para el cultivo de plantas (NOVAGRIC, 2020).

Las cubiertas de los invernaderos generalmente son de materiales transparentes, como vidrios o materiales plásticos, de estos últimos pueden ser películas como polietileno (PE), cloruro de polivinilo (PVC), etileno vinilo de acetato (EVA); o ser en placas: policarbonato (PC), polimetacrilato, poliéster, etc (NOVAGRIC, 2020). También se pueden clasificar según la construcción como tipo túnel, gótico, asimétrico, entre otros. En la Figura 5. se muestran algunos de estos tipos de invernaderos.

figura 5. Tipos de invernaderos.



Fuente: Huertos y Cultivos. (Huertos y Cultivos, 2023)

4.6.MARCO LEGAL

En Colombia la geotermia se encuentra catalogada como un recurso natural renovable, cuya propiedad y administración es competencia del Estado, esto se sustenta en las siguientes disposiciones normativas:

4.6.1. Clase de recurso y propiedad:

El Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente (Decreto – Ley 2811 de 1974), señala al respecto lo siguiente:

Tabla 3. Clase de recurso y propiedad.

| Decreto / Ley / Norma | Año | Descripción |
|---|------------|---|
| Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente Ley 2811 | 1974 | Artículo 3, literal g: Los recursos geotérmicos son considerados como un recurso natural renovable y, por lo tanto, objeto de regulación de dicho código. (Marzolf, 2014) |
| Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente Ley 2811 | 1974 | Artículo 42: Pertenecen a la Nación los recursos naturales renovables. (Martínez Martínez, 2021) |
| Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente Ley 2811 | 1974 | Artículo 167: Son recursos energéticos primarios: <ul style="list-style-type: none">a. La energía solarb. La energía eólicac. Las pendientes, desniveles topográficos o caídasd. Los recursos geotérmicos |

| | | |
|---|------|--|
| | | e. La energía contenida en el mar. (Marzolf, 2014) |
| Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente Ley 2811 | 1974 | Artículo 174: Sin perjuicio de derechos adquiridos, la Nación se reserva el dominio de los recursos geotérmicos. (Marzolf, 2014) |

Fuente: Elaboración propia.

4.6.2. Definición y uso del recurso:

El Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente define el recurso geotérmico así:

Tabla 4. Definición y uso del recurso.

| Decreto / Ley / Norma | Año | Descripción |
|---|------------|---|
| Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente Ley 2811 | 1974 | Artículo 172: Para los efectos de este Código, se entiende por recursos geotérmicos: <ul style="list-style-type: none"> a. La combinación natural del agua con una fuente calórica endógena subterránea cuyo resultado es la producción espontánea de aguas calientes o de vapores. b. La existencia de fuentes calóricas endógenas subterráneas a las cuales sea posible inyectar agua para producir su calentamiento, o para generar vapor. (Marzolf, 2014) |
| Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de | 1974 | Artículo 173: También son recursos geotérmicos, a que se aplican las disposiciones de este Código y las demás legales, los que afloran naturalmente o por obra humana con temperatura superior a 80 |

| | | |
|--|------|---|
| Protección al Medio Ambiente Ley 2811 | | grados centígrados o a la que la ley fije como límite en casos especiales. Los recursos geotérmicos que no alcancen los 80 grados centígrados de temperatura mínima serán considerados como aguas termales. (Marzolf, 2014) |
| Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente Ley 2811 | 1974 | Artículo 175. Los recursos geotérmicos pueden tener entre otros, los siguientes usos: a. Producción de energía. b. Producción de calor directo para fines industriales, o de refrigeración o calefacción. c. Producción de agua dulce. (Marzolf, 2014) |

Fuente: Elaboración propia

4.6.3. Gestión del recurso:

Teniendo en cuenta que el recurso geotérmico es de propiedad de la Nación, su administración debe asignarse a alguna entidad gubernamental. Es así como la Ley 99 de 1993 “por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA, y se dictan otras disposiciones” dispone al respecto lo siguiente:

Tabla 5. Gestión del recurso.

| Decreto / Ley / Norma | Año | Descripción |
|-----------------------|------|---|
| Ley 99 | 1993 | Artículo 2. Se crea el Ministerio de Ambiente “como organismo rector de la gestión del medio ambiente y de los recursos naturales renovables, encargado de impulsar una relación de respeto y armonía del hombre con la naturaleza y de definir, en los términos de la presente ley, las políticas y regulaciones a las que se sujetarán la recuperación, |

| | | |
|----------|------|---|
| | | conservación, protección, ordenamiento, manejo, uso y aprovechamiento de los recursos naturales renovables y el medio ambiente de la Nación, a fin de asegurar el desarrollo sostenible.” (Marzolf, 2014) |
| Ley 99 | 1993 | Artículo 6. Establece una cláusula general de competencia, en la cual se indica que el Ministerio de Ambiente ejercerá, en lo relacionado con el medio ambiente y los recursos naturales renovables, las funciones que no hayan sido expresamente atribuidas por la Ley a otra autoridad. (Marzolf, 2014) |
| Ley 2099 | 2021 | Para la generación de energía eléctrica y sus usos directos, para lo cual se podrán exigir permisos o requisitos para el desarrollo de proyectos que propendan por el aprovechamiento del recurso de alta, media y baja temperatura. (Martínez Martínez, 2021) |
| Ley 2099 | 2021 | Artículo 13. en ningún caso se desarrollarán proyectos de generación de energía geotérmica en las áreas del Sistema Nacional de Áreas Protegidas SINAP (Martínez Martínez, 2021) |

Fuente: Elaboración propia

Teniendo en cuenta que la geotermia es un recurso natural renovable a cargo de la Nación, se puede concluir a partir de las normas citadas que su gestión está en cabeza del Ministerio de Ambiente. (SAESP, I, 2019)

Cabe resaltar también, que el uso y aprovechamiento del recurso geotérmico requiere de la obtención de permisos, concesiones y licencias ambientales que estarán a cargo de las autoridades ambientales regionales, para este caso sería la CAR (Corporación Autónoma Regional).

5. DISEÑO METODOLÓGICO

5.1.Procedimiento metodológico

Dado que el objetivo principal es realizar una evaluación de la viabilidad financiera, no fue necesario realizar mediciones en el sitio de interés, puesto que los datos necesarios para llevar a cabo el estudio se obtuvieron de los diferentes recursos informáticos disponibles en internet, tales como las bibliotecas virtuales, donde se consultaron, libros, revistas, artículos y tesis académicas y científicas de diferentes bases de datos abiertas. También se consultaron páginas oficiales de entidades gubernamentales y privadas para comparar datos tales como INGEOMINAS, ISAGEN y el Ministerio de Minas y Energía. En general, toda la información encontrada en Internet y que fue usada en el presente documento fue verificada, analizada y referenciada.

Esta investigación es de tipo proyectiva puesto que plantea una propuesta que da una solución a la necesidad de aplicar un sistema de generación de energía amigable ambientalmente y estable ante los cambios climáticos; aprovechando la posición geográfica y las características geológicas de nuestro país (ventaja comparativa) y también aprovechando las políticas gubernamentales actuales ante el desarrollo de fuentes no convencionales de energía como lo es la geotermia.

5.2.Análisis de información

En cuanto al desarrollo ingenieril se tiene en cuenta que el sector agrícola es uno de los grandes consumidores de energía y a su vez uno de los principales emisores de gases de efecto invernadero y es por esto, por lo que el sector necesita ser más sostenible, competitivo y garantizar una producción de calidad. Esto implica unos desafíos importantes para el sector, a la vez que crea

la necesidad urgente de encontrar una fuente de energía estable, de bajo costo, basada en energías renovables locales para poder reducir su impacto climático.

En cuanto a energía geotérmica se refiere, según el estudio Análisis Comparativo de Estrategias para Mitigar los Riesgos Asociados con los Recursos Geotérmicos, de ESMAP, un fondo global de asistencia en proyectos energéticos administrado por el Banco Mundial; el potencial global de exploración es de entre 70 y 80 GW. Sin embargo, después de más de 100 años, sólo el 15% de las reservas geotérmicas conocidas en todo el mundo son explotadas para la producción de electricidad, y generan apenas 12GW.(Robertson-Tait, Jayawardena, Hutterer, Berman, & Sanyal, 2016).

En cuanto al invernadero óptimo que se debe tener para utilizar en este tipo de proyecto debe ser construido en base a los invernaderos que ya se vienen manejando para el cultivo del clavel, los cuales pueden ser invernaderos de tipo multitúnel, preferiblemente de cubierta curva o de tipo gótico con elevada aireación, construidos con polietileno de baja densidad, al cual también se le pueden agregar pantallas térmicas, las cuales proporcionan alta transmisión de luz en el día y alto aislamiento en la noche, generando así la difusión de luz, lo cual puede aumentar la producción hasta en un 8%, ayudando a mantener una cantidad de luz adecuada en el invernadero (NOVAGRIC, 2020).

6. DESARROLLO Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

6.1.Caracterización del cultivo del clavel

Es importante para este estudio, caracterizar el cultivo de clavel en Cundinamarca y verificar los principales requerimientos en cuanto a calefacción, para esto, se realizó una consulta:

Tabla 6 Caracterización del cultivo del clavel.

| REQUERIMIENTO | DATO | OBSERVACIÓN |
|---|--------------------------------------|--|
| Temperatura diurna dentro del invernadero | 15-18 °C | No debe superar los 21°C. |
| Temperatura nocturna dentro del invernadero | 10-12 °C | El mínimo de temperatura para el crecimiento vegetativo está situado en torno a los 8°C, aunque el clavel soporta hasta los -3°C sin helarse. |
| Iluminación | 40.000 lux | La luz, determina la rigidez del tallo y el tamaño y número de flores. |
| Humedad | 60-70%. | Corresponde a la humedad relativa media |
| pH | 6,5 | |
| Cosecha | 23 semanas | 161 días |
| Camas de plantación | 1m de ancho y 30-40cm de profundidad | van separadas por pasillos de 0,5m |
| Malla tutor | 12,5x12,5cm | Esta malla debe colocarse antes de proceder a la plantación. Las mallas prefabricadas, de alambre o nylon son las más utilizadas para entutorar. |
| Densidad de plantación | 32 plantas/m2. | |
| Producción | 10-20 tallos/año. | |

Fuente:NOVAGRIC, 2020)

6.2.Modelo matemático

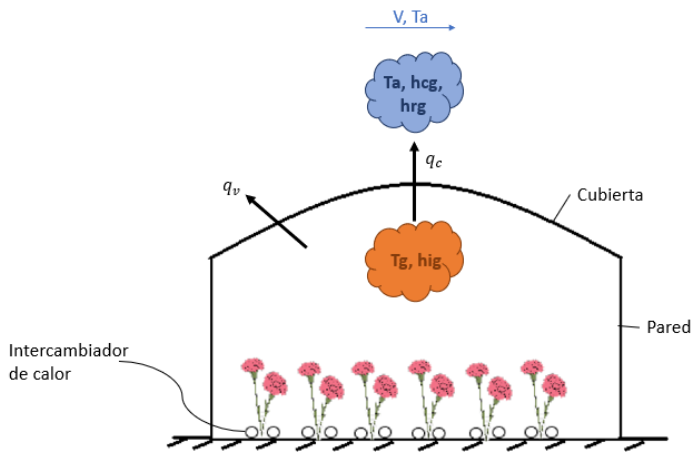
Para asegurar una temperatura de crecimiento óptima, el sistema de calentamiento del invernadero es diseñado para las condiciones pico (nocturnas) debido a que en la zona de estudio la cual es el municipio de Tabio se pueden presentar temperaturas poco beneficiosas para el clavel como las llamadas “heladas”. El modelo matemático fue realizado para un estado estable, teniendo en cuenta que la temperatura de operación del invernadero será mantenida con la ayuda de un sistema de control y las condiciones de temperatura ambiente, flujo y temperatura de agua termal son valores promedios. La Figura 6 muestra el esquema de calentamiento del invernadero y las pérdidas de calor.

Debido a la baja conductividad térmica del suelo se desprecian las pérdidas de calor por el piso. El diseño y dimensionamiento se lo realiza considerando el régimen de operación más crítico

el cual sucede en las horas de la noche cuando no hay radiación solar. Por lo tanto, las pérdidas de calor del invernadero (q_g) cuando este se mantiene a una temperatura constante (T_g) se expresan como la suma de las pérdidas de calor por la cubierta y paredes (q_c) y la infiltración de aire (q_v) de acuerdo con la ecuación 1

$$q_g = q_c + q_v \quad (1)$$

figura 6. Esquema de las Pérdidas de Calor del Invernadero.



Fuente: Elaboración propia.

Las pérdidas de calor por el área de la cubierta y las paredes (A_g) pueden ser calculadas con la siguiente ecuación (Figura. 7):

$$q_c = U_{gr} A_g (T_g - T_a) \quad (2)$$

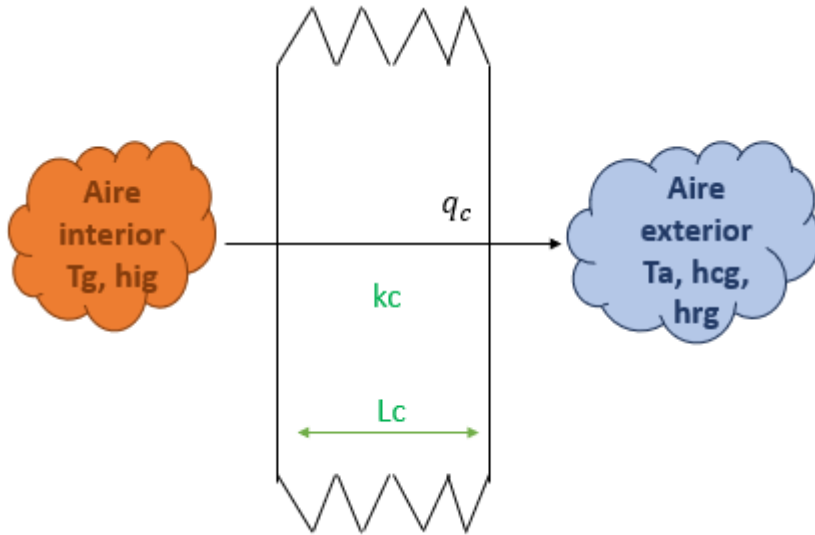
Donde:

T_g = temperatura del aire interior del invernadero requerida por el cultivo.

T_a = temperatura ambiente exterior.

U_{gr} = coeficiente global de transferencia de calor entre el interior y el exterior del invernadero.

figura 7. Intercambio de Calor entre el Interior y el Exterior del Invernadero a través de la Cubierta y Paredes.



Fuente: Elaboración propia.

El coeficiente global de transferencia de calor (U_{gr}) se calcula en base a la ecuación 3:

$$U_{gr} = \frac{1}{\frac{1}{h_{ig}} + \frac{L_c}{K_c} + \frac{1}{h_{cg} + h_{rg}}} \quad (3)$$

Donde:

h_{ig} = coeficiente de transferencia de calor por convección para el aire interior del invernadero = 5.7 (W/m²K) (M. K1yan, E. Bingöl, M. Melikoğlu y A. AlbostanA, 2013)

L_c = espesor del material de la cubierta y paredes = 1.8x10⁻⁴ (m), para polietileno de baja densidad (IDAE,2008)

K_c = conductividad térmica del material de la cubierta y paredes (polietileno de baja densidad) = 0.45 (W/m²K) (IDAE,2008)

h_{cg} = coeficiente de transferencia de calor por convección para el aire exterior del invernadero.

h_{rg} = coeficiente de transferencia de calor por radiación de la superficie exterior del invernadero y los alrededores.

El coeficiente de transferencia de calor h_{cg} puede ser calculado considerando convección forzada sobre una placa plana empleado la ecuación 4, la cual es ampliamente utilizada para el dimensionamiento de sistemas solares sin mayores restricciones: (J. A. Duffie y W.A., Beckman, W, 2006)

$$h_{cg} = 2.8 + 3V \quad (4)$$

Donde:

V = velocidad del viento promedio(m/s)

Para el cálculo del coeficiente h_{rg} durante la noche se asume que la temperatura de la cubierta y paredes del invernadero es igual a la temperatura del aire interior el mismo que se determina con la ecuación 5:

$$h_{rg} = 4\sigma\epsilon \left(\frac{T_g + T_a}{2} \right)^3 \quad (5)$$

Donde:

σ = constante de Stefan Boltzmann

ϵ = emisividad del material de la cubierta y paredes (polietileno) = 0.1 (Optotherm, 2014)

Las pérdidas por infiltraciones (q_v) son calculadas con la ecuación 6:

$$q_v = \rho_a C_a V_g ACH (T_g - T_a) \quad (6)$$

Donde:

ρ_a = densidad del aire (evaluada a T_a)

C_a = calor específico del aire (evaluado a T_a)

V_g = volumen del invernadero, calculado de acuerdo con su geometría

ACH = número de intercambios de aire por hora = 0.5 (F. McQuiston, J. Parker y J. Spitter, 2005)

El flujo de agua termal (\dot{m}_w) requerido para el calentamiento del invernadero se determina considerando que las pérdidas de calor del invernadero (q_g) son iguales al calor entregado por el agua termal. Para estado estable en un líquido incompresible, el flujo de agua termal puede ser expresado con la ecuación 7 (F. Incropera, D. Dewitt, T. Bergman y A. Lavine, 2007):

$$\dot{m}_w = \frac{q_g}{C_w(T_{wi} - T_{wo})} \quad (7)$$

Donde:

C_w = calor específico del agua termal (a la temperatura promedio del ingreso y salida del intercambiador de calor)

T_{wi} = temperatura del agua termal (al ingreso del intercambiador de calor)

T_{wo} = temperatura del agua termal (a la salida del intercambiador de calor)

El balance energético para un intercambiador de calor de tubería sin aletas, donde el aire a temperatura constante (T_g) está alrededor del tubo por donde fluye el agua termal (Figura.6), permite determinar la longitud de la tubería (L) con la siguiente fórmula (F. Incropera, D. Dewitt, T. Bergman y A. Lavine, 2007):

$$L = \frac{q_g}{\pi D \Delta T_{lm} U} \quad (8)$$

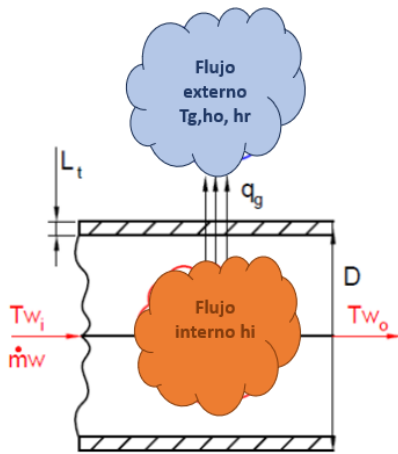
Donde:

U = coeficiente global de transferencia de calor del intercambiador de calor entre el agua termal y el aire interior del invernadero

D = diámetro nominal de la tubería

ΔT_{lm} = diferencia media logarítmica de temperaturas

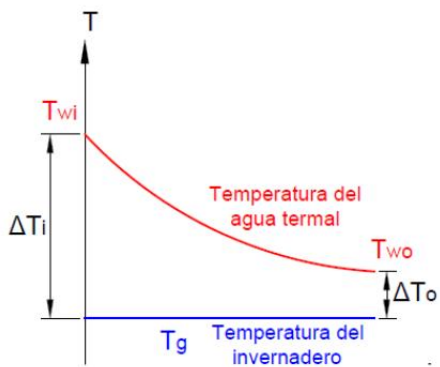
figura 8. Transferencia de Calor desde el Intercambiador de Calor.



Fuente: Elaboración propia.

La diferencia media logarítmica de temperaturas es calculada de temperaturas es calculada teniendo en cuenta la (Figura 9) y con la ecuación 9:

figura 9. Distribución de Temperatura a lo largo del Intercambiador de Calor.



$$\Delta T_{lm} = \frac{\Delta T_o - \Delta T_i}{\ln\left(\frac{\Delta T_o}{\Delta T_i}\right)} \quad (9)$$

El coeficiente global (U) puede ser calculado con la siguiente relación:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{L_t}{K_t} + \frac{1}{h_o + h_r}} \quad (10)$$

Donde:

h_i = coeficiente de convección para flujo interno

L_t = espesor de la tubería

K_t = conductividad térmica de la tubería

h_o = coeficiente de convección para flujo externo

h_r = coeficiente de radiación desde la tubería

Considerando flujo interno turbulento totalmente desarrollado dentro de la tubería, el coeficiente de convección (h_i) se determina con la siguiente expresión (F.Incropera, D.Dewitt, T. Bergman y A.Lavine, 2007):

$$h_i = \frac{0.0395 Re^{\frac{3}{4}} Pr^{\frac{1}{3}} k_i}{D} \quad (11)$$

Donde:

Re = número de Reynolds

Pr = número de Prandtl

k_i = conductividad térmica del agua termal

D = diámetro nominal de la tubería

Las propiedades del agua termal son evaluadas a la temperatura promedio de ingreso y de salida al intercambiador de calor.

Considerando convección natural sobre un cilindro horizontal y un número de Rayleigh (Ra) menor a 10^{12} , el coeficiente h_o se calcula con la siguiente ecuación (F.Incropera, D.Dewitt, T. Bergman y A.Lavine, 2007:

$$h_o = \frac{k_o}{D} \left\{ 0.60 + \frac{0.387 Ra^{\frac{1}{6}}}{\left[1 + \left(\frac{0.559}{Pr_o} \right)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{8}{27}}} \right\}^2 \quad (12)$$

Donde:

k_o = conductividad térmica del aire

D = diámetro nominal de la tubería

Pr_o = número de Prandtl

Las propiedades son evaluadas a la temperatura media entre la superficie del tubo y del invernadero.

El coeficiente h_r es calculado con la siguiente ecuación:

$$h_r = 4\sigma\epsilon_t \left(\frac{T_g + \left(\frac{T_{wi} + T_{wo}}{2} \right)}{2} \right)^3 \quad (13)$$

Donde:

ϵ_t = emisividad de la superficie de la tubería,

Posteriormente consideraron los parámetros resumidos en la tabla 8.

Tabla 7. Parámetros Principales empleados en la Simulación del Modelo Matemático.

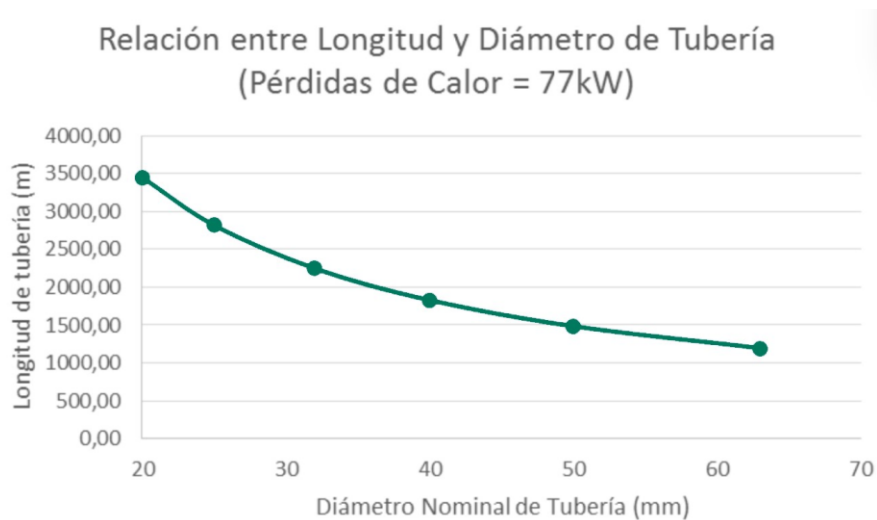
| Parámetro | Valor |
|---|-----------|
| Condiciones exteriores del invernadero | |
| Temperatura nocturna | 7 °C |
| Velocidad del viento (V) | 1,9 m/s |
| Condiciones interiores del invernadero | |
| Temperatura | 12°C |
| Características del agua termal | |
| Temperatura | 60°C * |
| Flujo disponible | 10 kg/s * |

*Valores aproximados tomados de (Alfaro V., Aguirre C., Bernal C, & Gokcen, 2003)

Fuente: Elaboración propia.

Para el análisis de resultados se considera la relación que tienen el diámetro y la longitud de la tubería (Figura 10), así como la relación entre flujo másico y la longitud de la tubería (Figura 11) cuando se mantienen el resto de los parámetros constantes.

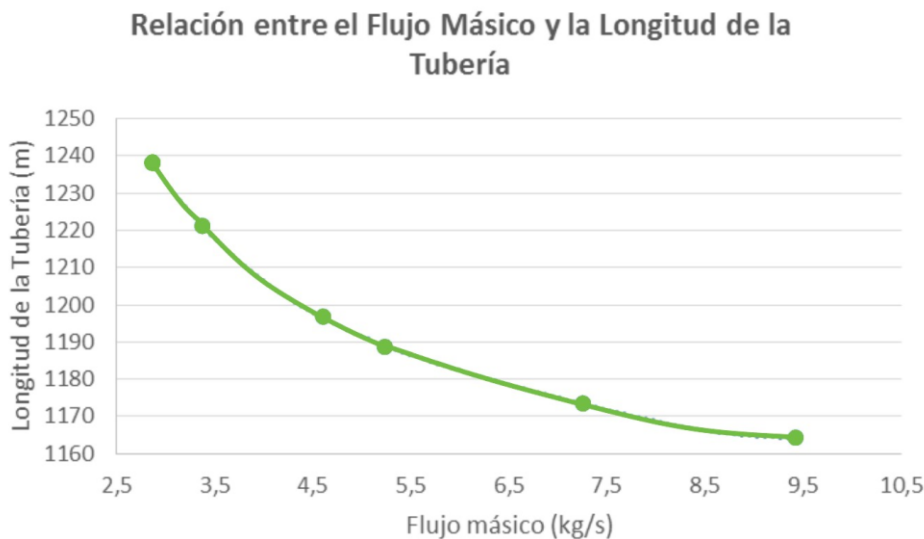
figura 10. Relación entre la longitud y el diámetro de la Tubería.



Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 10 se aprecia que para los diámetros pequeños se requieren longitudes grandes, es decir, son inversamente proporcionales, lo cual también implica que la instalación del tubo se tenga que realizar con varias vueltas en el invernadero, dificultando su construcción, operación y mantenimiento. Mientras que, si se consideran diámetros grandes entonces la longitud va a ser menor, con lo cual, permite facilitar las actividades dentro del invernadero.

figura 11. Relación entre el flujo másico y la longitud de la tubería.



Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 11, se observa que igual como pasa con la relación anterior, también es inversamente proporcional, es decir, para una misma área de cultivo los flujos másicos pequeños demandan longitudes grandes de tubería, lo cual podría afectar la rentabilidad del proyecto, puesto que se necesitaría un intercambiador de calor más grande y, por consiguiente, más costoso.

En la tabla 8 se observa los parámetros que deben ser considerados pues con ello se demuestra que es técnicamente factible cultivar claveles bajo invernadero en Tabio Cundinamarca, manteniendo las condiciones óptimas de temperatura dentro del mismo.

Tabla 8. Parámetros a considerar para el invernadero y el intercambiador de calor

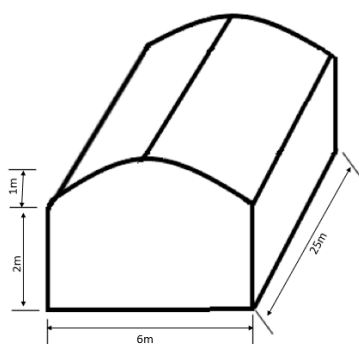
| Parámetro | Valor |
|---|---------------------------|
| Intercambiador de calor | |
| Gradiente geotérmico | 60°C/Km * |
| Díametro de la tubería | 63mm |
| Longitud de la tubería | 1200 m* |
| Flujo másico del agua terma | 4,6 kg/s |
| Diferencia de temperaturas del agua termal al ingreso y salida del intercambiador | 40°C |
| Pérdidas de calor del invernadero | 77,32kW |
| coeficiente global de transferencia | 7,39W/m ² K |
| conductividad | 2830 μs/cm ² * |
| Invernadero (área de cultivo de 120 m²) | |
| Altura principal | 2m |
| Altura secundaria | 1m |
| Ancho | 6m |
| Largo | 25m |
| Numero de claveles a cultivar | 3840 |
| Rendimiento (tallo/año) | 10 a 20 |

*Para la longitud el valor va a variar de acuerdo con la necesidad y en cuanto a los demás, son valores aproximados tomados de (Alfaro V., Aguirre C., Bernal C, & Gokcen, 2003)

Fuente: Elaboración propia.

La figura 12 muestra las dimensiones del invernadero y cabe aclarar que como se mencionó en anteriormente, este modelo de invernadero se trabajó en base a los invernaderos que ya se vienen manejando para el cultivo del clavel, los cuales pueden ser invernaderos de tipo multitúnel, preferiblemente de cubierta curva o de tipo gótico. Por otro lado, es importante también considerar las propiedades del material de construcción del invernadero (tabla 9.)

figura 12. Dimensiones del invernadero.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 9. Propiedades de polietileno.

| VARIABLE | MATERIAL | UNIDAD DE MEDIDA |
|---|-------------|------------------|
| | POLIETILENO | |
| Espesor | 0,00018 | m |
| Coficiente de absorvidad de la cubierta para radiación Solar. | 0,03 | |
| Coficiente de transmisividad de la cubierta para radiación solar. | 0,88 | |
| Coficiente de transmisión para radiación térmica. | 0,65 | |
| Emisividad de la cubierta para radiación térmica | 0,2 | |
| Conductividad térmica. | 0,45 | W/mK |
| Índice renovación del aire | 0,75-1,75 | h^{-1} |

Fuente: Elaboración propia.

6.3. Viabilidad financiera

Para realizar la evaluación de la viabilidad financiera realizará un análisis de los equipos y materiales que se tendrían que emplear a la hora de llevar a la práctica este proyecto, y por último Se realizará un análisis económico con base en la producción de clavel para un periodo de 10 años

6.3.1. Costos e inversiones del proyecto

Estos costos están definidos como los gastos necesarios para lograr la producción de clavel dentro del invernadero:

- Insumos agrícolas como semillas, pesticidas, abonos y película plástica del invernadero.
- Mano de obra.
- Mantenimiento del invernadero y los equipos.
- Depreciación.

Las inversiones o gastos fijos son todo el material y equipo necesarios para la realización del proyecto, estos son:

- Montaje y costo del invernadero.
- Equipos auxiliares, que consisten en los equipos de climatización.
- Montaje y puesta en marcha del sistema de tuberías.
- Capital de trabajo.

6.3.2. Inversiones fijas

Para el presente proyecto se tienen como inversiones fijas las siguientes:

- Intercambiador de calor,
- Invernadero, implica la estructura y montaje.
- Bomba centrífuga y toda la tubería necesaria.

Tabla 10. Inversiones necesarias para el proyecto

| Ítem | Descripción | Cantidad | Costo unitario | Costo total |
|-----------------------------------|--|----------|----------------|----------------------|
| INVERNADERO | | | | |
| Madera | Postes / estacones | 60 | \$ 44.900 | \$ 2.694.000 |
| | Tablas de pino | 30 | \$ 23.900 | \$ 717.000 |
| | Listones de pino | 40 | \$ 13.900 | \$ 556.000 |
| Clavos | Clavos 3,5" | 1 | \$ 5.900 | \$ 5.900 |
| | Clavos 1,5" | 1 | \$ 3.600 | \$ 3.600 |
| Polietileno | Rollo polietileno 4x10 m | 8 | \$ 18.990 | \$ 151.920 |
| Mano de obra | Construcción y postura de plástico | 2 | \$ 1.160.000 | \$ 2.320.000 |
| SISTEMA DEL INTERCAMBIADOR | | | | |
| Bomba | bomba centrífuga | 1 | \$ 120.000 | \$ 120.000 |
| Riego | Kit sistema de riego por goteo | 6 | \$ 271.219 | \$ 1.627.314 |
| Intercambiador | Intercambiador de calor en PVC | 1 | \$ 7.805.922 | \$ 7.805.922 |
| Tubería | Sistema de conxiones: codos, coples, válvula | 1 | \$ 4.320.000 | \$ 4.320.000 |
| Mano de obra | Montaje y puesta en marcha | 2 | \$ 1.160.000 | \$ 2.320.000 |
| Capital de trabajo | Costos de operación por 23 semanas | | \$ 22.000.000 | \$ 22.000.000 |
| TOTAL | | | | \$ 44.641.656 |

Fuente: Elaboración propia.

Cabe aclarar que todos los costos se encuentran expresados en COP.

Para el valor del capital de trabajo, se consideró de esa manera puesto que, este valor corresponde al dinero que se necesitará para cubrir los costos de operación hasta que se comiencen las ventas, en este caso se consideró para 6 meses puesto que el clavel tarda 23 semanas en estar listo para la cosecha.

6.3.3. Ingreso

El ingreso del invernadero está dado por las ventas que dependen de la producción anual, y sabiendo que la cantidad de claveles que se pueden plantar son 32 por metro cuadrado y teniendo un aprovechamiento del terreno de $120m^2$ además conociendo que el valor de la unidad de clavel es de \$9.000 COP considerando el IVA, se tendría un ingreso anual de \$34.560.000 COP, esto si

sólo se realiza una siembra al año, pero teniendo en cuenta que se requieren de 23 semanas para la cosecha, se podrían realizar labores agrícolas que permitan realizar dos cosechas por año teniendo como resultado un ingreso de \$69.120.000 aproximadamente.

6.3.4. Costos de operación.

los costos hacen referencia a todo el material y personal necesario para poder operar el invernadero. Estos se explican a continuación:

6.3.4.1. Insumos agrícolas

Los insumos agrícolas son las semillas de los claveles, los abonos, ya que aportan los nutrientes necesarios para el desarrollo de las plantas. Se debe escoger específicamente para los claveles, puesto que para cada cultivo hay una cantidad específica que se debe aplicar.

También en este punto es necesario considerar los pesticidas, con el fin de evitar la proliferación de plagas que puedan afectar el cultivo.

6.3.4.2. Mano de Obra.

En la mano de obra se emplearán dos jornaleros para labores directas en los cultivos como: poda, cosecha, revisión y control de plagas y enfermedades, puesta en marcha del sistema de riego y aplicación de los abonos.

6.3.4.3.Luz y Agua

Estos datos son basados en estimaciones de lo que se considera puede llegar a ser el valor real para un cultivo de clavel,

6.3.4.4.Mantenimiento

Se considera un costo de mantención igual al 1% de la inversión inicial. Además, es probable que al ser un invernadero de polietileno los mantenimientos se deban hacer como mínimo 2 veces al año.

6.3.4.5. Depreciación

Para todo modelo financiero, siempre es necesario contemplar la depreciación, puesto que con el paso del tiempo los diferentes activos de los proyectos se van desgastando, por lo que sirve para tener un ahorro con el fin de reemplazar los equipos en caso de continuar con los proyectos. La depreciación se realiza con los activos fijos tangibles como equipos y estructuras, en este caso:

- Intercambiador de calor,
- Invernadero, implica toda la estructura
- Bomba centrífuga y toda la tubería, válvulas y demás.

Se debe tener en cuenta el porcentaje de depreciación para instalaciones, maquinarias, equipos y muebles es del 10% anual. (Gerencie, 2022)

6.3.4.6. Costos totales

A continuación, se relacionan los costos totales por 10 años, cabe aclarar que algunos valores son supuestos de lo que se podría ver en campo.

Tabla 11. Costos totales por 10 años

| CONCEPTO | AÑO 1 | AÑO 2 | AÑO 3 | AÑO 4 | AÑO 5 | AÑO 6 | AÑO 7 | AÑO 8 | AÑO 9 | AÑO 10 |
|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Mantenimiento | \$ 8.928.331 | \$ 8.928.331 | \$ 8.928.331 | \$ 8.928.331 | \$ 8.928.331 | \$ 8.928.331 | \$ 8.928.331 | \$ 8.928.331 | \$ 8.928.331 | \$ 8.928.331 |
| Arriendo | \$ 15.000.000 | \$ 15.000.000 | \$ 15.000.000 | \$ 15.000.000 | \$ 15.000.000 | \$ 15.000.000 | \$ 15.000.000 | \$ 15.000.000 | \$ 15.000.000 | \$ 15.000.000 |
| Depreciación | \$ 4.017.749 | \$ 4.017.749 | \$ 4.017.749 | \$ 4.017.749 | \$ 4.017.749 | \$ 4.017.749 | \$ 4.017.749 | \$ 4.017.749 | \$ 4.017.749 | \$ 4.017.749 |
| Mano de Obra | \$ 2.320.000 | \$ 2.320.000 | \$ 2.320.000 | \$ 2.320.000 | \$ 2.320.000 | \$ 2.320.000 | \$ 2.320.000 | \$ 2.320.000 | \$ 2.320.000 | \$ 2.320.000 |
| Semillas | \$ 471.533 | | | | | \$ 471.533 | | | | |
| Sustrato | \$ 201.250 | \$ 201.250 | \$ 201.250 | \$ 201.250 | \$ 201.250 | \$ 201.250 | \$ 201.250 | \$ 201.250 | \$ 201.250 | \$ 201.250 |
| Pesticidas | \$ 212.950 | | \$ 212.950 | | \$ 212.950 | | \$ 212.950 | | \$ 212.950 | |
| Luz | \$ 1.689.331 | \$ 1.689.331 | \$ 1.689.331 | \$ 1.689.331 | \$ 1.689.331 | \$ 1.689.331 | \$ 1.689.331 | \$ 1.689.331 | \$ 1.689.331 | \$ 1.689.331 |
| Agua | \$ 19.350.437 | | \$ 19.350.437 | | \$ 19.350.437 | | \$ 19.350.437 | | \$ 19.350.437 | |
| TOTAL | \$ 52.191.581 | \$ 32.156.661 | \$ 51.720.048 | \$ 32.156.661 | \$ 51.720.048 | \$ 32.628.194 | \$ 51.720.048 | \$ 32.156.661 | \$ 51.720.048 | \$ 32.156.661 |

Fuente: Elaboración propia.

6.3.5. Análisis final

Con las consideraciones expuestas, se realiza un flujo de caja para el proyecto, se tiene en cuenta cada material de construcción para evaluar la factibilidad económica, el invernadero se considera como una empresa particular cualquiera, donde la inversión debe ser pagada por el propietario. Por lo tanto, se estipula recuperar la inversión inicial en 4 años y con una evaluación a 10 años. Los resultados se muestran en la Tabla 10.

Tabla 12. flujo de caja.

| Año calendario Año proyecto | 2022 0 | 2023 1 | 2024 2 | 2025 3 | 2026 4 | 2027 5 | 2028 6 | 2029 7 | 2030 8 | 2031 9 | 2032 10 |
|-------------------------------------|--------------------------|--|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Ingresos | | | | | | | | | | | |
| Total Ingresos | | \$ 69.120.000 | \$ 70.272.000 | \$ 71.424.000 | \$ 72.576.000 | \$ 73.728.000 | \$ 74.880.000 | \$ 76.032.000 | \$ 77.184.000 | \$ 78.336.000 | \$ 79.488.000 |
| OPEX | | | | | | | | | | | |
| Mano de obra y administración | | \$ 2.320.000 | \$ 2.320.000 | \$ 2.320.000 | \$ 2.320.000 | \$ 2.320.000 | \$ 2.320.000 | \$ 2.320.000 | \$ 2.320.000 | \$ 2.320.000 | \$ 2.320.000 |
| Costos de Operación | | \$ 52.191.581 | \$ 32.156.661 | \$ 51.720.048 | \$ 32.156.661 | \$ 51.720.048 | \$ 32.156.661 | \$ 51.720.048 | \$ 32.156.661 | \$ 51.720.048 | \$ 32.156.661 |
| Total OPEX | | \$ 54.511.581 | \$ 34.476.661 | \$ 54.040.048 | \$ 34.476.661 | \$ 54.040.048 | \$ 34.476.661 | \$ 54.040.048 | \$ 34.476.661 | \$ 54.040.048 | \$ 34.476.661 |
| Depreciación | | \$ 4.017.749 | \$ 4.017.749 | \$ 4.017.749 | \$ 4.017.749 | \$ 4.017.749 | \$ 4.017.749 | \$ 4.017.749 | \$ 4.017.749 | \$ 4.017.749 | \$ 4.017.749 |
| Utilidad operacional | | \$ 10.590.670 | \$ 31.777.590 | \$ 13.366.203 | \$ 34.081.590 | \$ 15.670.203 | \$ 36.385.590 | \$ 17.974.203 | \$ 38.689.590 | \$ 20.278.203 | \$ 40.993.590 |
| (-) CAPEX | \$ 59.641.656 | | | | | | | | | | \$ -19.464.166 |
| FLUJO DE CAJA LIBRE | | | | | | | | | | | |
| (+) Utilidad operativa | \$ 0 | \$ 10.590.670 | \$ 31.777.590 | \$ 13.366.203 | \$ 34.081.590 | \$ 15.670.203 | \$ 36.385.590 | \$ 17.974.203 | \$ 38.689.590 | \$ 20.278.203 | \$ 40.993.590 |
| (-) Impuestos operativos | \$ 0 | \$ 3.177.201 | \$ 9.533.277 | \$ 4.009.861 | \$ 10.224.477 | \$ 4.701.061 | \$ 10.915.677 | \$ 5.392.261 | \$ 11.606.877 | \$ 6.083.461 | \$ 12.298.077 |
| (-) Depreciaciones y amortizaciones | \$ 0 | \$ 4.017.749 | \$ 4.017.749 | \$ 4.017.749 | \$ 4.017.749 | \$ 4.017.749 | \$ 4.017.749 | \$ 4.017.749 | \$ 4.017.749 | \$ 4.017.749 | \$ 4.017.749 |
| (-) Variación capital de trabajo | \$ 0,00 | \$ 0,00 | \$ 0,00 | \$ 0,00 | \$ 0,00 | \$ 0,00 | \$ 0,00 | \$ 0,00 | \$ 0,00 | \$ 0,00 | \$ 0,00 |
| (-) CAPEX | \$ 59.641.656 | \$ 0 | \$ 0 | \$ 0 | \$ 0 | \$ 0 | \$ 0 | \$ 0 | \$ 0 | \$ 0 | \$ -19.464.166 |
| FLUJO DE CAJA LIBRE | \$ -59.641.656,00 | \$ 11.431.218,01 | \$ 26.262.062,01 | \$ 13.374.091,11 | \$ 27.874.862,01 | \$ 14.986.891,11 | \$ 29.487.662,01 | \$ 16.599.691,11 | \$ 31.100.462,01 | \$ 18.212.491,11 | \$ 52.177.427,61 |
| TIR | 31,39% anual | TIR mayor a TREMA luego el proyecto SI es rentable | | | | | | | | | |
| TREMA/TIO/CO/TD = | 10,50% anual | | | | | | | | | | |
| VPN | \$ 74.999.202,60 | VPN mayor a cero, el proyecto SI CREA VALOR | | | | | | | | | |

Fuente: Elaboración propia.

7. CONCLUSIONES

El aprovechamiento del uso de la energía geotérmica de baja entalpia no se ha desarrollado tanto puesto que existen otras fuentes de menor costo y de mayor explotación, como: el combustible, la energía eléctrica, el gas. Sin embargo, la energía geotérmica tiene un alto potencial

de aplicación, esto según lo observado en los proyectos a nivel internacional para la agroindustria, siendo el aprovechamiento de esta, suficiente para suplir las necesidades y parámetros de los cultivos de clavel.

Los sistemas de intercambiadores de calor para las funciones de calefacción o refrigeración, pueden ser una solución óptima para las necesidades del cultivo del clavel desde el punto de vista de costos de funcionamiento, condiciones climáticas y mantenimiento.

Los proyectos en energía geotérmica tienen asociado un gran riesgo e incertidumbre sobre todo en la fase de exploración del proyecto ya que muchos datos geológicos como el tipo de recurso, la temperatura, el gradiente geotérmico y la tasa de producción potencial no pueden ser determinados con seguridad antes de la perforación de pozos que lo confirmen, es por esto que el riesgo de incertidumbre debe ser considerado al momento de evaluar la viabilidad económica de cada proyecto, pues tiene una gran influencia en su viabilidad y debe ser tomado en cuenta antes de realizar grandes inversiones.

Desde el punto de vista técnico existen diversas variables que afectan el rendimiento de un sistema geotérmico, entre ellas, la temperatura de entrada del fluido y su caudal. La variable de temperatura de entrada tiene una alta importancia a la hora de verificar la viabilidad financiera del proyecto, dado que, si no se cuenta con una temperatura adecuada, podría conllevar a que el proyecto necesite de más equipos para ser técnicamente viable, pero esto representaría un incremento considerable en la inversión, lo cual haría que el proyecto no sea viable.

Los flujos máxicos pequeños demandan longitudes grandes de tubería, lo cual haría que el proyecto no sea viable, puesto que se necesitaría un intercambiador de calor más grande y esto conllevaría a un mayor costo y una mayor ocupación de espacio dentro del invernadero.

Es importante mencionar que los datos de la viabilidad financiera son aproximaciones, puesto que no se conocen en totalidad el valor de algunos insumos con lo cual podría estar sujeto a cambios, sin embargo, no serían cambios drásticos.

Tal como se puede observar, la TIR de proyecto fue mayor a la TREMA, con lo cual se puede afirmar que el proyecto es rentable, también se observó que el VPN es mayor a cero, lo que significa que el proyecto para este caso es conveniente financieramente.

8. BIBLIOGRAFÍA

Alfaro V., C., Aguirre C., A., Bernal C, N., & Gokcen, G. (2003). Inventario de fuentes termales del departamento de cundinamarca. Bogotá D.C: Ministerio de minas y energía, instituto de investigación e información geocientífica, minero, ambiental y nuclear.

American Psychological Association. (2010). Manual de Publicaciones de la American Psychological Association (6 ed.). (M. G. Frías, Trad.) México, México: El Manual Moderno.

Andreotti , J. I. (13 de 05 de 2014). egresadoselectronicaunc. Obtenido de egresadoselectronicaunc:
<https://egresadoselectronicaunc.blogspot.com/2014/05/tecnologia-geotermica-para-generar.html>

Asocolflores. (2018). Informe de logros. Retrieved from <https://asocolflores.org/wp-content/uploads/2019/10/Informe-de-logros-2018-Asocolflores-Web-1.pdf>

Colombiatrade. (2019). ¿Cómo funciona el sector floricultor en Colombia? Obtenido de <https://www.colombiatrade.com.co/noticias/como-funciona-el-sector-floricultor-en-colombia>

Coviello, M. (2000). Estudio para la Evaluación del Entorno del Proyecto Geotérmico Binacional «Tufiño-Chiles-Cerro Negro». Comisión Económica para América Latina y el Caribe.

CVN. (2019). exportación de flores colombianas, un mercado en constate evolución. Retrieved from <https://www.cvn.com.co/exportacion-de-flores/>

DANE. (2019). Censo de Fincas Productoras de Flores. Retrieved from https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/flores/Informe_resultados_2009.pdf

García Ávila, M. Á. (2021). Análisis tecno-económico de un sistema de invernadero para cultivo de plantas ornamentales mediante el aprovechamiento del recurso geotérmico de baja entalpía. . Ciudad de México.

Gerencie. (26 de 08 de 2022). *Gerencie*. Obtenido de Vida útil de los activos fijos o depreciables: <https://www.gerencie.com/vida-util-de-los-activos-fijos.html>

Heredia Benito, J. (11 de 02 de 2014). Doctoral dissertation, Universitat Politècnica de València. Obtenido de Doctoral dissertation, Universitat Politècnica de València: https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/35464/PFG%20T18_2013_Juana%20Heredia%20Benito.pdf?sequence=2&isAllowed=y

Huertos y Cultivos. (17 de 05 de 2023). 10 tipos diferentes de invernaderos | Estructuras y diseños. Obtenido de Huertos y cultivos: <https://huertosycultivos.com/tipos-diferentes-de-invernaderos/>

IDAE, Ahorro y Eficiencia Energética en Invernaderos, Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía, Madrid, España,2008

InfoAgro. (2018). El cultivo del Clavel. Retrieved February 24, 2020, from https://www.infoagro.com/documentos/el_cultivo_del_clavel.asp

Llopis Trillo, G., & Rodrigo Angulo, V. (2008). Guía de la energía geotérmica. Madrid: Dirección general de industria, energía y minas.

López Suárez , A. (28 de 07 de 2021). Portafolio. Obtenido de Portafolio:

<https://www.portafolio.co/negocios/empresas/con-cuatro-pilotos-el-pais-genera-energia-geotermica-y-biomasa-554531>

Martínez Martínez, J. (2021). MARCO JURÍDICO SOBRE LA GENERACIÓN DE ENERGÍA GEOTÉRMICA. Bogotá D.C: PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA.

Marzolf, N. C. (2014). Emprendimiento de la energía geotérmica en Colombia. Banco Interamericano de Desarrollo.

NOVAGRIC. (2020). Novedades Agrícolas S.A. Obtenido de Novedades Agrícolas S.A.:

<https://www.novagric.com/es/invernaderos-claveles>

Optotherm (2014). Emissivity Table. Retrieved from <http://www.optotherm.com/emiss-table.htm>, 12de julio de 2014

Portafolio. (2011). Colombia principal productor de claveles en el mundo. Retrieved from www.portafolio.co/negocios/empresas/colombia-principal-productor-claveles-mundo.

Robertson-Tait, A., Jayawardena, M., Hutterer, G., Berman, L., & Sanyal, S. K. (2016). Análisis comparativo de estrategias para la mitigación del riesgo asociado a los recursos geotérmicos. 2016/06/17. Retrieved from

<http://documents.worldbank.org/curated/en/407911467995618028/pdf/105172-SPANISH-PUBLIC-FINAL-ESMAP-GeoRiskMitigation-KS024-16SP-web.pdf>

SAESP, I. (2019). Repositorio Minenergía. Obtenido de Repositorio Minenergía:

<https://repositoriobi.minenergia.gov.co/handle/123456789/2011>

twenergy. (18 de Octubre de 2019). twenergy. Obtenido de ¿Qué es la energía geotérmica?:

<https://twenergy.com/energia/energia-geotermica/que-es-la-energia-geotermica-que-aplicaciones-tiene-108/>

Valenzuela Ramírez, Á. (2022). Diseño de un prototipo geotérmico con intercambiador de calor tierra-aire para Neiva: Universidad Antonio Nariño.

9. ANEXOS

Anexo 1. Mediciones de electromagnetismo en la zona de las piscinas termales en el municipio de Tabio.



SUBDIRECCIÓN DE ENSAYOS Y SERVICIOS TECNOLÓGICOS

**MEDICIONES DE ELECTROMAGNETISMO EN LA ZONA DE LAS
PISCINAS TERMALES EN EL MUNICIPIO DE TABIO**

**LABORATORIO DE GEOFÍSICA
(Informe LGF- 014)**

CLIENTE INTERNO: Proyecto RS2-02

**Preparado por
LUIS VÁSQUEZ**

Bogotá, Mayo de 2003

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN
 - 1.1. Generalidades
 - 1.2. Localización del Área de estudio
 - 1.3. Objetivos
 - 1.4. Metodología
 - 1.5. Marco Geológico
 - 1.6. Hipótesis de Trabajo

2. PROSPECCIÓN GEOFÍSICA
 - 2.1. Marco Teórico
 - 2.2. Adquisición o muestreo de series de datos
 - 2.3. Procesamiento de datos
 - 2.4. Mapas

3. SÍNTESIS DE LOS RESULTADOS

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. INTRODUCCIÓN

1.1. GENERALIDADES

Dentro de las actividades programadas por el Proyecto RS2-02 'Exploración y Evaluación de Recursos Geotérmicos' de la Subdirección de Georecursos del INGEOMINAS, se contempló adelantar un estudio de exploración geofísica en el municipio de Tabio, con el fin de reunir información geocientífica que contribuya a determinar la fuente de las aguas termales en esa región.

Para ese efecto, se llevó a cabo una comisión de trabajo durante el periodo comprendido entre el 11 y 14 de Noviembre de 2002.

1.2. LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El área de trabajo se localiza en el municipio de Tabio, al occidente de la zona urbana, dentro de la zona de recreación de las piscinas de agua termal.

En general el acceso es bastante bueno, con varias vías pavimentadas y otros carretables en perfecto estado. La zona es plana en gran proporción, rodeada por algunas colinas y zonas montañosas.

1.3. OBJETIVOS

Los objetivos fueron los siguientes:

1. Delimitación de zonas con baja resistividad, que se puedan relacionar con las fuentes termales en profundidad.
2. Determinación de rasgos estructurales asociados al fenómeno termal.

1.4. METODOLOGÍA

Para poder alcanzar los objetivos planteados se empleó la siguiente metodología:

1. Se hizo una evaluación previa de la información geológica y geofísica existente.
2. Se utilizó un método de medición electromagnético en el dominio del tiempo.
3. Se procesó y analizó la información adquirida en el terreno

1.5. SÍNTEISIS GEOLÓGICA

El área de estudio, descrita en detalle en trabajos anteriores, está constituida esencialmente por rocas sedimentarias con edades que van desde el cretáceo hasta el Terciario, cubiertos discordantemente por sedimentos inconsolidados del Cuaternario tales como coluviones y aluviones recientes.

1.6. HIPÓTESIS DE TRABAJO

Dentro del área, las aguas termales presentan un elevado contenido de sales lo cual hace que se asemeje al agua de mar. Por este motivo, se espera que su resistividad eléctrica sea lo suficientemente pequeña como para diferenciarla del entorno geológico circundante el cual por lo general es poco conductor o aislante. Este contraste favorece a la exploración geoelectrica o electromagnética para ser usada con perspectivas de éxito.

Así, por ejemplo, el agua de mar, presenta valores de resistividad menores de 2 ohm-m; el agua salobre presenta valores entre 2 y 8 ohm-m y el agua dulce valores superiores a 10 ohm-m. Las rocas sedimentarias por su parte presentan valores que oscilan entre 10 y 10000 ohm-m.

2. PROSPECCIÓN GEOFÍSICA

2.1. MARCO TEÓRICO

2.1.1. FUNDAMENTOS

En el mundo que nos rodea, siempre que exista un campo eléctrico variable se crea un campo magnético y viceversa de acuerdo con las Leyes físicas de Oersted, Ampere, Faraday y Lenz, expresadas matemáticamente en las ecuaciones de Maxwell:

$$\nabla \times H = J + \partial D / \partial t$$

$$\nabla \times E = - \partial B / \partial t$$

Donde H es el campo magnético, J es la densidad de corriente eléctrica, D es la corriente eléctrica de desplazamiento, E es la intensidad del campo eléctrico y B es la inducción magnética. Nabla (∇) representa la variación de un campo físico en el espacio y las derivadas representan la variación con respecto al tiempo.

Para poder relacionar éstos fenómenos con las propiedades físicas del subsuelo o con sus estructuras existen unas ecuaciones denominadas constitutivas (Nabighian, 1987). Una de las más importantes en términos de prospección geofísica es la Ley de Ohm, la cual relaciona la densidad de corriente a la intensidad del campo eléctrico así:

$$J = \sigma E$$

Donde σ es una propiedad del medio conocida como la conductividad eléctrica, cuyo inverso es la resistividad eléctrica $\rho=1/\sigma$. Cualquiera de las dos se utiliza para caracterizar el medio.

Otra ecuación constitutiva es la que relaciona la intensidad del campo eléctrico con la corriente de desplazamiento:

$$D = \epsilon E$$

Donde ϵ es otra propiedad de los materiales conocida como permitividad dieléctrica.

La tercera de las ecuaciones constitutivas es la que relaciona la fuerza del campo magnético con la inducción magnética:

$$B = \mu H$$

Donde μ es la permeabilidad magnética del medio.

Combinando las ecuaciones constitutivas con las ecuaciones de Maxwell, se llega a lo siguiente:

$$\nabla \times H = (\sigma + \partial (\epsilon)/\partial t).E$$

$$\nabla \times E = - \mu .\partial H/\partial t$$

2.1.2. MÉTODO ELECTROMAGNÉTICO

Se basa en el fenómeno de inducción electromagnética, la cual permite la propagación de las ondas electromagnéticas de un cuerpo a otro sin tocarlo directamente, es decir, sin hacer contacto físico con él.

Si desde la superficie del terreno y a partir de una fuente **T_x** se genera un campo electromagnético primario **E_p** a través de un cable o espira, éste se propaga hacia profundidad a través de los diferentes cuerpos o masas de roca con una conductividad específica (o su inverso la resistividad ρ_1). Si existen materiales conductivos con resistividad menor ρ_2 , alrededor de éstos se genera un segundo campo electromagnético **E_s** de intensidad menor, el cual puede ser detectado en superficie a través de un sensor o receptor **R_x**. (fig. 1)

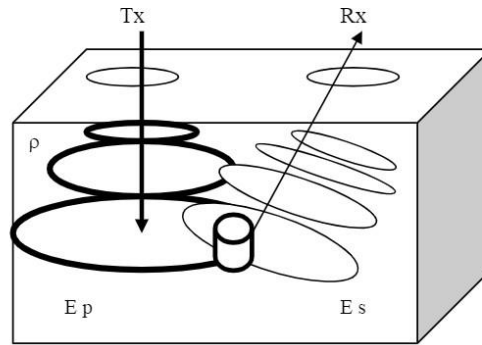


Figura 1. Principio del Método Electromagnético

El método se puede emplear bajo dos dominios: el dominio de la frecuencia y el dominio del tiempo. En cualquiera de ellos se investiga la capacidad o propiedad eléctrica de los materiales con la profundidad bajo un punto de referencia y esto se conoce como un Sondeo Electromagnético (SEM).

Los sondeos electromagnéticos (SEM) en general se realizan para determinar las variaciones de la conductividad o resistividad eléctrica de las capas de la corteza de La Tierra con la profundidad. Cuando se utiliza una fuente artificial para producir un campo electromagnético se les conoce como métodos de sondeo con fuente controlada.

La mayoría de SEM consiste en hacer mediciones a frecuencias o tiempos determinados, empleando una fuente (Tx) y un receptor (Rx) fijos. La distribución de corrientes inducidas en el subsuelo depende del producto de la conductividad eléctrica, la permeabilidad magnética y la frecuencia (Spies y Frischknecht, 1991). Como las corrientes de baja frecuencia se difunden a mayor profundidad que las de alta frecuencia, las mediciones de la respuesta electromagnética a diferentes frecuencias o tiempos contienen información sobre la variación de la conductividad con la profundidad. Alternativamente, se pueden hacer sondeos midiendo la respuesta a varias separaciones entre fuente y receptor para una sola frecuencia o tiempo. Pueden ser utilizados en una gran variedad de estudios científicos en donde se encuentren rocas estratificadas, desde investigaciones superficiales de procesos de meteorización hasta delineación de las estructuras de la corteza profunda. Los SEM proporcionan mejor resolución y son menos distorsionados por variaciones laterales de resistividad que los métodos de sondeo con fuente natural o con los de corriente directa.

2.2. ADQUISICIÓN DE LOS DATOS

2.2.1. Equipo

Para la medición de la resistividad se empleó un equipo de electromagnetismo en el dominio del tiempo, australiano, marca SIROTEM. Dentro de sus componentes tiene 2 microprocesadores: uno para adquisición y otro para manejo de datos. Con el primero recibe los datos y calcula resultados y con el otro los procesa y almacena. Cuenta con una memoria RAM para almacenar hasta 400 sondeos o registros SEM. Trae un reloj para registrar la fecha y hora en tiempo real o de medición de los parámetros. Opera con una pareja de baterías de 12 voltios y 15 amperios-hora, cada una. Cuenta con un sistema de medición de 53 ventanas de tiempo de decaimiento y una sensibilidad para detectar valores hasta de 1 nanovoltio por amperio.

2.2.2. Arreglo de Inducción Electromagnética

La geometría del arreglo del cable en el terreno fue el de una 'espira' cuadrada por la cual se hace circular una corriente eléctrica a partir de pulsos bipolares.(fig. 2)



Figura 2. a) pulso eléctrico bipolar b) arreglo sencillo (single loop)

Este arreglo recibe el nombre de arreglo sencillo y consiste en que la misma espira sirve tanto de transmisor (Tx) como de receptor (Rx). Una vez tomada la medición, la espira se va desplazando o conectando al cuadrado vecino y así sucesivamente hasta obtener el perfil deseado.

Los pulsos tienen un período de encendido y un periodo de apagado de igual valor, generalmente de 8.3333 milisegundos en zonas donde existen redes eléctricas de 60 Hertz. El equipo efectúa la medición del campo secundario, en un rango que va de 8 microsegundos hasta 2 segundos, durante el periodo de apagado.

2.2.3. Datos

La respuesta obtenida es una señal de decaimiento del voltaje con el tiempo o curva de decaimiento transiente, en microvoltios/amperio, la cual puede verse en la pantalla del equipo. (fig. 3)

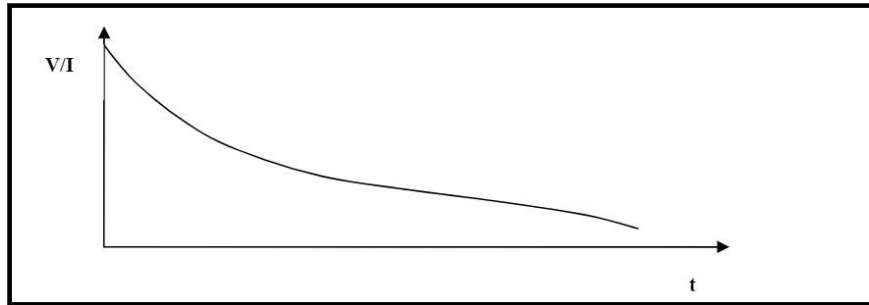


Figura 3. Curva de decaimiento del voltaje contra el tiempo.

El valor de resistividad aparente es calculado por el microprocesador para obtener la curva de variación de la resistividad contra el tiempo, la cual se despliega directamente en la pantalla del equipo para efectos de control. Dicho valor se expresa así:

$$Ra = 6.32 \cdot 10^{-12} \cdot A^{2/3} \cdot b^{4/3} \cdot (V/I)^{-2/3} \cdot t^{-5/3}$$

Donde **Ra** es la resistividad aparente, **A** es el área efectiva de la espira del receptor, **b** es el lado de la espira del transmisor, **V/I** es la respuesta transiente y **t** es el tiempo de retraso a partir del comienzo del decaimiento.

La relación de los datos adquiridos se encuentra en un formato denominado AMIRA y éstos están consignados en el anexo. En total se midieron 15 Sondeos Electromagnéticos SEM en la zona plana del área de estudio, empleando arreglos de 25x25 y 50x50 m., para una profundidad de penetración promedio de 150 m.

2.3. PROCESAMIENTO DE LOS DATOS

Los datos adquiridos fueron trasladados del equipo al computador, mediante una interfase en serie RS-232. Se almacenaron en archivos con extensión .sir, para que pudieran ser leídos por el programa EMVISION, con el cual se editaron y procesaron.

El procesamiento consistió en convertir los valores de resistividad aparente en función del tiempo, a valores de resistividad verdadera en función de la profundidad. Esto se realiza empleando el método del problema inverso, el cual, consiste en hallar la distribución de propiedades físicas del subsuelo a partir de una serie finita de mediciones u observaciones, en este caso de la resistividad eléctrica en función del tiempo.

La formulación del problema inverso está basada en la siguiente ecuación:

$$E(r_o, t_o) = E_p(r_o, t_o) + \int G(r_o, r; t) \cdot E(r, t) \cdot \rho_a(r) \cdot dv$$

Donde \underline{r}_0 denota un punto de observación y \underline{t} es el tiempo del transiente. La resistividad aparente ρ_a es la diferencia entre la resistividad real y la resistividad de referencia ρ . \underline{G} es el tensor función de Green para el campo eléctrico y $d\underline{v}$ es una pequeña porción de volumen.

Lo anterior se transforma a lo siguiente:

$$E(\underline{r}_0, z_0) = E_p(\underline{r}_0, z_0) + \iint G(\underline{r}_0, \underline{r}; z_0, z) \cdot E(\underline{r}, z) \cdot dr \cdot \rho_a(\underline{r}) \cdot dz$$

Donde \underline{r}_0 denota un punto de observación y \underline{z} es la profundidad.

Dicha transformación se llevó a cabo a partir de un algoritmo matemático desarrollado en Australia por la CSIRO, el cual viene incorporado con el programa mencionado. Dicho algoritmo denominado GRENDL encuentra soluciones al problema inverso para un semiespacio homogéneo y estratificado horizontalmente. Los datos son tratados simultáneamente, a manera de perfiles que muestran la variación de la resistividad con la profundidad.

Los perfiles se almacenan en archivos con extensión .ses, y pueden ser grabados como imágenes para su posterior presentación.

2.4. MAPAS

Los datos fueron adquiridos en perfiles compuestos por diferente número de sondeos electromagnéticos, presentados en el Anexo.

Para tener una perspectiva areal de los resultados se elaboraron mapas de iso-resistividad con valores obtenidos para diferentes profundidades y con curvas de contornos cada 5 ohm-m. Es así como se seleccionaron las siguientes: 5, 30, 50 y 100 m de profundidad, presentadas en las figs. 4 a 7.

Mapa de iso-resistividad a 5 m de profundidad

Muestra valores de resistividad menores de 10 ohm-m hacia la parte nororiental del área estudiada, en una franja SW45NE, pasando por el sector de las piscinas. Hacia el resto del área se presentan valores de hasta 50 ohm-m o más.

Mapa de iso-resistividad a 30 m de profundidad

Muestra también valores de resistividad muy bajos en una franja SW45NE, pasando por el sector de las piscinas pero más hacia el occidente. Hacia la parte Occidental continúan los valores de más de 50 ohm-m.

Mapa de iso-resistividad a 50 m de profundidad

Muestra valores de resistividad entre 10 y 20 ohm-m, predominando sobre los de 50 ohm-m.

Mapa de isoresistividad a 100 m de profundidad

Vuelve a destacarse valores de resistividad menores de 10 ohm-m en una franja SW45NE, pero concentrados hacia la parte occidental del área, y los valores de 50 ohm-m o más se presentan hacia el sector nororiental.

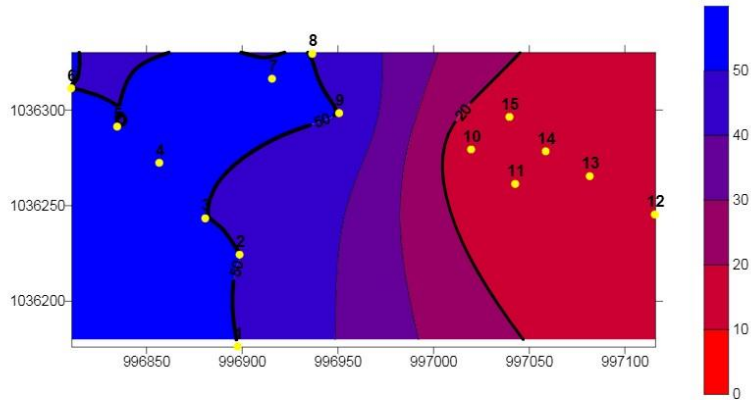


Figura 4. Isorresistividad a 5 m de profundidad.

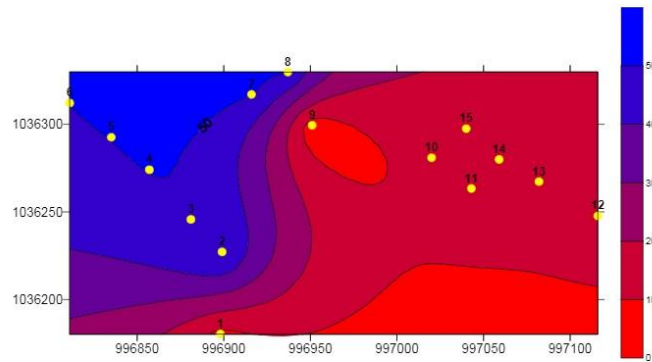


Figura 5. Isorresistividad a 30 m de profundidad

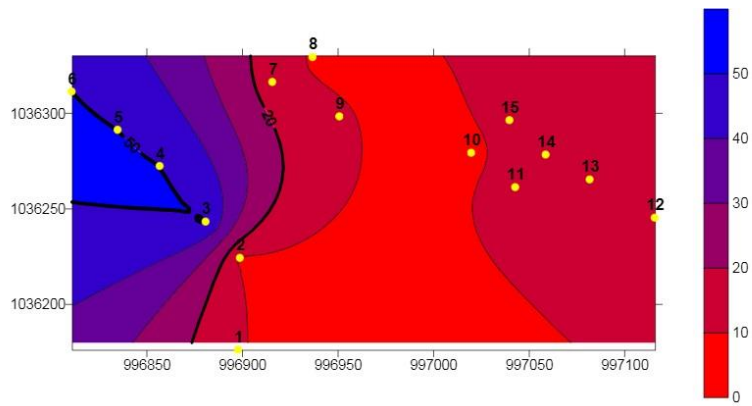


Fig. 6. Isorresistividad a 50 m de profundidad.

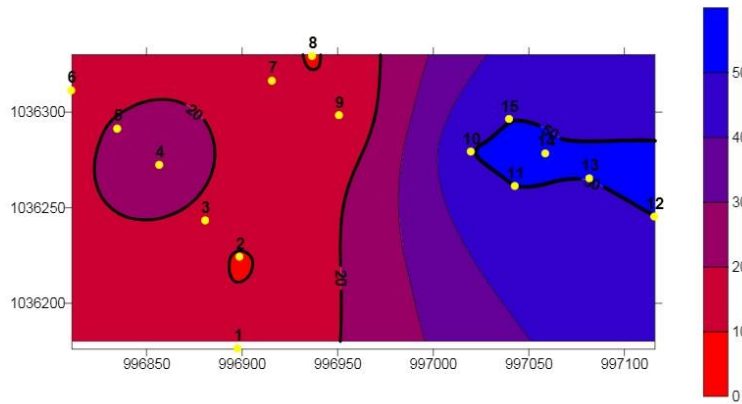


Figura 7. Isorresistividad a 100 m

3. SÍNTESIS DE LOS RESULTADOS

Como es bien conocido, la resistividad eléctrica (o su inversa, la conductividad) puede ser electrónica (metálica) o iónica (electrolítica). En las rocas sedimentarias, la mayoría de sus constituyentes principales como son el cuarzo, calcita y los feldespatos son prácticamente aislantes y no conducen la corriente; por eso, la resistividad de la formación (ρ_f) es en general alta. La manera como puede existir conducción es a través de los fluidos contenidos en sus espacios porosos o fracturas, es decir, de forma iónica; así, la resistividad del fluido (ρ_w) es relativamente más baja.

Al realizar mediciones de resistividad desde la superficie del terreno mediante un método eléctrico o electromagnético se obtienen resultados que constituyen la distribución de valores de resistividad total (ρ_t) con la profundidad. Dicha resistividad total involucra tanto la resistividad de la formación como la resistividad del fluido contenido (agua, aceite, gas u otro cualquiera).

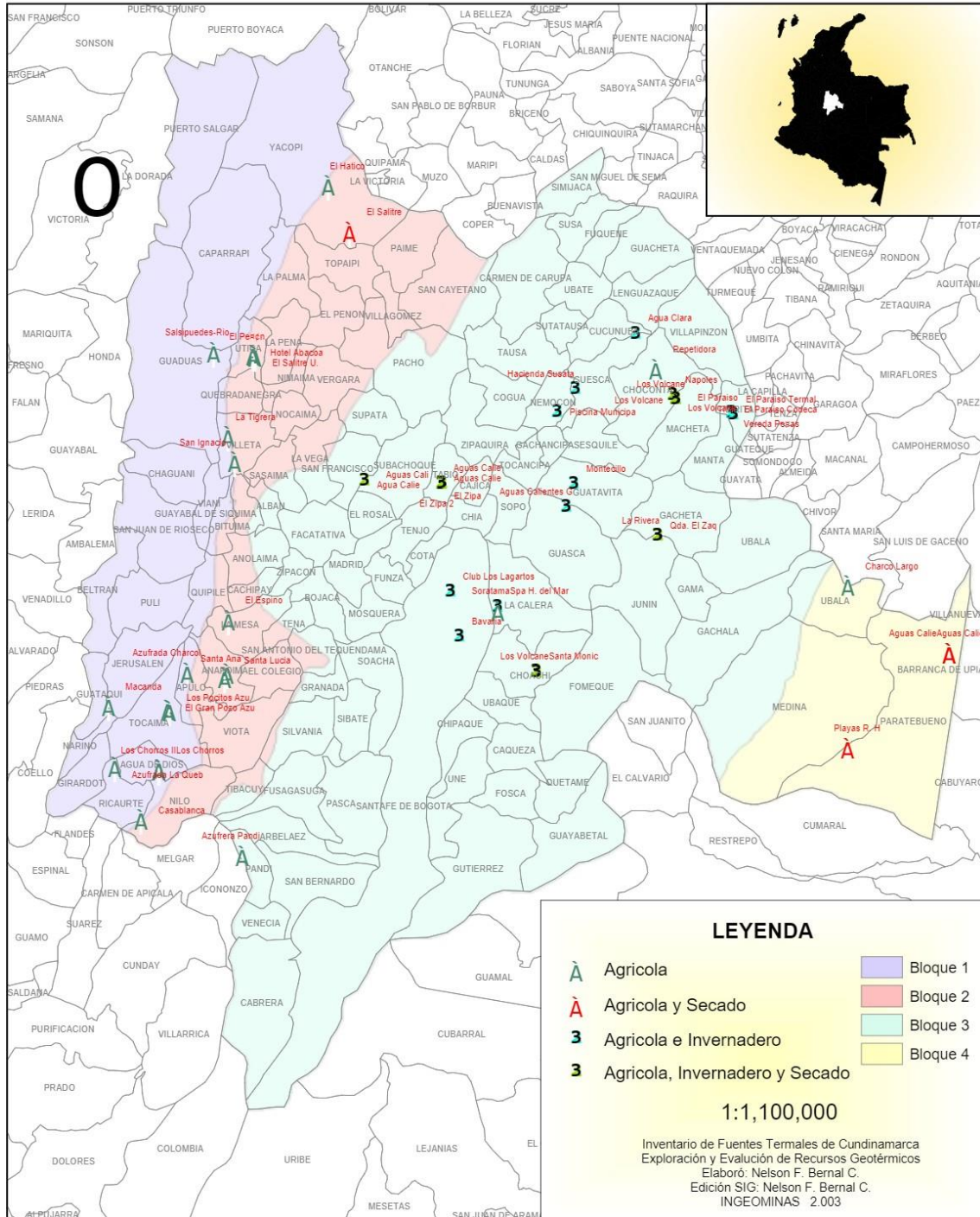
De la observación de los mapas se podría decir que hacia el occidente del área y hacia profundidad existe un buen potencial de aguas termales a unos 100m, las cuales se van encontrando más cerca de la superficie (50, 30 y 5 m de profundidad) a medida que se avanza hacia el oriente, es decir, hacia las piscinas de Tabio.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Las mediciones realizadas en diferentes puntos de fuentes termales permitieron establecer que la resistividad del agua de las mismas decae linealmente con el aumento de la Temperatura.
- La resistividad total (roca más fluido) está relacionada directamente con la resistividad del agua mediante la textura del material y por lo tanto también decae con el aumento de la temperatura de las fuentes termales. De esta manera, resistividades medidas a partir de los Sondeos Electromagnéticos (SEM) son indicativos de la presencia de aguas termales cuando su valor es inferior a 1 ohm-m. (o conductividades mayores de 10.000 $\mu\text{mhos/cm}$)
- Existen fuentes termales a diferentes profundidades en el municipio de Tabio que van desde la aparición en superficie hasta más de 100 m. Para confirmar esta interpretación se recomienda llevar a cabo perforaciones en los sectores indicados para evaluar el potencial real de las fuentes termales y determinar sus características físico-químicas.
- Los SEM tuvieron una profundidad de penetración que alcanzó como máximo los 150 m. Debido a esta limitante se recomienda emplear métodos geofísicos alternos (magnetometría, gravimetría, gradiente gravimétrico, sísmica) para tratar de llegar a un modelo que pueda explicar o dar indicios sobre la profundidad de la fuente de las aguas termales.
- En cuanto a rasgos estructurales, se puede concluir que existe una tendencia SW-NE que atraviesa el valle de Tabio, la cual podría corresponder a un sistema de fracturas o fallas en esa dirección.

Anexo 2. Mapa de Fuentes Termales de Cundinamarca con Potencial para Usos Agrícolas.

Mapa de Fuentes Termales de Cundinamarca con Potencial para Usos Agrícolas



Anexo 3. Cotización intercambiador.



FICHA TECNICA SERPENTINES AGUA - AIRE 3/8"

| | | | |
|-----------|--------------------|----------|-----------|
| Ciente | Laura Vargas | Telefono | 0 |
| Empresa | Laura Vargas | Fax | 0 |
| Direccion | | Fecha | 12-jul-23 |
| Email | lavavaru@gmail.com | | |

Modelo **CE-48 (P2,5-1060x780)** Cod: CW3CA100X075X009T25

CONDICIONES DE TRABAJO

| | | | | | |
|--------------------|------------------------|----------------|------------------|---------------|---------------|
| Capacidad Total | 58310 Kcal/h | 67,8 KW | Humedad Relativa | Entra 80% | Salie 16% |
| Capacidad Sensible | 57996 Kcal/h | 67,4 KW | Temp. de Agua | Entra 82,0 °C | Salie 19,5 °C |
| Caudal de Aire | 7935 m ³ /h | | Temp. de Aire | Entra 0,0 °C | Salie 25,0 °C |
| Caudal de Agua | 15,5 L/min | | DTmi | 35,0 °K | |
| DP agua | 0,67 mca | | | | |

CARACTERISTICAS ESTANDAR

| | | | |
|---------------------------|---------------------|------------|-----|
| INTERCAMBIADOR | | MATERIALES | |
| Superficie de Intercambio | 48,2 m ² | Tubos | PVC |
| Tiro de aire | Horizontal | | |

DIMENSIONES ALETEADAS

OPCIONALES SELECCIONADOS

Intercal S.A. se reserva el derecho de modificar sin previo aviso las características técnicas y opcionales del equipo

Plata

| Cantidad | Unidad | Precio Unitario | Precio total neto | COTIZACION N° |
|----------|--------|-----------------|-------------------|-----------------|
| | | Total \$ | Total \$ | |
| 1 | | 7.805.922 | 7.805.922 | 49059/AG |

VALORES NO INCLUYEN IVA

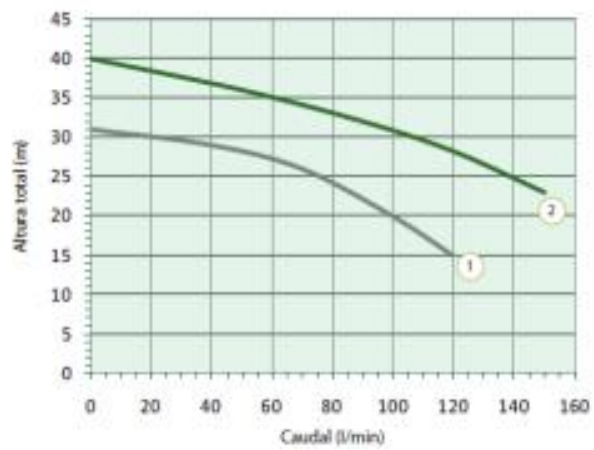
| | |
|------------------------|---------------------------|
| Condiciones de Pago: | CLI. 01 PAGO, AL DIA |
| Plazo entrega : | A convenir según programa |
| Validez de la oferta : | 30 dias |
| Vendedor : | Alonso Gamberini |

Anexo 4. Cotización bomba centrífuga

BOMBAS CENTRÍFUGAS



BCm158 (1.0 HP)
BCm170 (1.5 HP)



BOMBA CENTRIFUGA BESTFLOW
BTCM 110 1.5HP 220V

\$120.000 IVA INCLUIDO